

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměřením tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Vliv talku a teploty temperace na vlastnosti a morfologii výstřiků z PP

The effect of talc and tempering temperature on the properties and the morphology of injection from PP

Michal Špicar
KSP - TP - 812

Vedoucí diplomové práce: Ing. Luboš Běhálek - *TU v Liberci*
Konzultant diplomové práce: Ing. Jiří Bobek - *TU v Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	67
Počet tabulek	18
Počet obrázků	73

Datum: 23. 5. 2008

ANOTACE
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní
Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: Michal Špicar

Téma práce: Vliv talku a teploty temperace na vlastnosti a morfologii
výstřiku z PP
The effect of talc and tempering temperature on the properties
and the morphology of injection from PP

Číslo DP: KSP - TP - 812

Vedoucí DP: Ing. Luboš Běhálek - *TU v Liberci*

Konzultant: Ing. Jiří Bobek – *TU v Liberci*

Abstrakt:

Tématem diplomové práce je vliv talku a teploty temperace na vlastnosti a morfologii výstřiků z polypropylenu. Tepelné poměry při vstřikování plastů ovlivňují zásadním způsobem výsledné užité vlastnosti vstřikovaných dílů a v konečném důsledku ovlivňují i cenu výrobku. Tato diplomová práce hodnotí aspekty použití talku, a to zejména jeho vliv na vlastnosti a morfologii výstřiků z polypropylenu.

Abstract:

The topic of the diploma thesis is the effect of talc and tempering temperature on the properties and the morphology of injection from polypropylene. The temperature ratios during injection of plastic substances in principle affect resultant usable properties of injection parts and in final effect they influence the product price. This diploma thesis appraises the usage of talc especially its influence on properties and morphology of injections from polypropylene.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 23. května 2008

.....

Michal Špicar
Bezručova 812
289 03 Městec Králové

Poděkování:

Rád bych poděkoval všem, kteří mi umožnili dokončit mou diplomovou práci. Děkuji především Ing. Luboši Běhálkovi za vedení mé diplomové práce a za jeho trpělivost a čas strávený při konzultacích. Dále bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Bobkovi za spolupráci a podmětné připomínky. Děkuji i ostatním členům KSP, kteří svou ochotou napomohli k jejímu dokončení.

Obsah

1	ÚVOD	10
2	TEORETICKÁ ČÁST.....	11
2.1	VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ PLASTŮ.....	11
2.2	POSTUP PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	11
2.2.1	<i>Strojní časy</i>	<i>15</i>
2.2.2	<i>Doba vstřikování</i>	<i>15</i>
2.2.3	<i>Doba dotlaku</i>	<i>15</i>
2.2.4	<i>Doba plastikace.....</i>	<i>16</i>
2.2.5	<i>Doba chlazení.....</i>	<i>17</i>
2.3	MORFOLOGIE PLASTŮ	19
2.3.1	<i>Hodnocení mikrostruktury</i>	<i>21</i>
2.4	VLIV TEMPERACE (CHLAZENÍ) FORMY NA VLASTNOSTI A MORFOLOGII VÝSTŘIKU	23
2.4.1	<i>Krystalické uspořádání, stupeň krystalinity a průběh krystalizace.. -</i>	<i>26 -</i>
2.4.2	<i>Vliv temperace na morfologii výstřiku</i>	<i>-27--</i>
2.4.3	<i>Vliv temperace na výsledný povrch</i>	<i>-28 -</i>
2.5	POLYPROPYLEN	-29 -
2.5.1	<i>Charakteristika polypropylenu</i>	<i>-29 -</i>
2.5.2	<i>Chemické složení a struktura polypropylenu</i>	<i>-30 -</i>
2.5.3	<i>Mechanické vlastnosti PP</i>	<i>-32 -</i>
2.5.4	<i>Tepelné vlastnosti PP</i>	<i>-32 -</i>
2.5.5	<i>Elektrické vlastnosti PP</i>	<i>-32 -</i>
2.5.6	<i>Optické vlastnosti PP</i>	<i>-32 -</i>
2.5.7	<i>Rozpustnost PP.....</i>	<i>-32 -</i>
2.5.8	<i>Propustnost plynů a par PP</i>	<i>-33 -</i>
2.5.9	<i>Ostatní vlastnosti pp</i>	<i>-33 -</i>
2.6	TALEK	-33 -
2.6.1	<i>Vznik talku</i>	<i>-33 -</i>
2.6.2	<i>Použití talku</i>	<i>-34 -</i>
2.6.3	<i>Morfologie a vlastnosti talku</i>	<i>-34 -</i>
2.6.4	<i>Možné výhody talku v polypropylenu.....</i>	<i>-36 -</i>
2.7	POPIS VLIVU TALKU NA UŽITNÉ VLASTNOSTI	-39 -
2.7.1	<i>Rázová houževnatost.....</i>	<i>-39 -</i>



2.7.2	odolnost vysokým teplotám	- 39 -
2.7.3	Odolnost proti krípu (creepu)	- 40 -
2.7.4	Propustnost vodních par a kyslíku	- 41 -
2.7.5	Odolnost proti chemikáliím	- 42 -
2.8	NOVÉ TRENDY PRO POLYMERY PLNĚNÉ TALKEM	- 42 -
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	- 44 -
3.1	MATERIÁL A PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	- 44 -
3.1.1	Použitý materiál	- 44 -
3.1.2	Použitá vstřikovací forma	- 45 -
3.1.3	Použitý vstřikovací stroja temperační agregát	- 46 -
3.2	PŘÍPRAVA VZORKŮ PRO ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	- 46 -
3.3	PRŮBĚH EXPERIMENTU	- 47 -
3.4	ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	- 48 -
3.5	HODNOCENÍ MIKROSTRUKTURY	58
4	VYHODNOCENÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ	63
4.1	VYHODNOCENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	63
4.2	VYHODNOCENÍ KOMPOZICE PRŮŘEZU TLOUŠTKY	67
5	ZÁVĚR	69
	SEZNAM LITERATURY	71



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ:

ABS		akrylonitril butadien styren
HDPE		vysokohustotního polyethylenu
LDPE		nízkohustotní polyethylenu
PE		polyethylen
PP		polypropylen
PVC		polyvinylchlorid
D	[mm]	průměr šneku
L	[mm]	délka šneku
S _K	[mm]	pohyb šneku (pístu) při vstřikování a dotlaku
S _N	[mm]	pohyb formy
F _p	[N]	přisouvací síla
F _u	[N]	uzavírací síla
m _K	[g/kg]	celková hmotnost materiálu v tavící komoře
m _v	[kg/g]	hmotnost plastu spotřebovaného při jednom pracovním úkonu
p	[MPa]	vnější vstřikovací tlak
p _i	[MPa]	vnitřní vstřikovací tlak
p _{vstř}	[MPa]	vstřikovací tlak
p _z	[MPa]	zbytkový tlak
Q _p	[kg.h ⁻¹]	plastikační kapacita
Q _v	[cm ³]	vstřikovací kapacita stroje
t _{s1}	[s]	doba přisunutí, uzavření a uzamčení formy
t _{s2}	[s]	doba přisunutí tavící komory k formě
t _{s3}	[s]	doba otevření formy
t _c	[s]	doba vstřikovacího cyklu
t _d	[s]	doba dotlaku
t _{ch}	[s]	doba chlazení
t _k	[s]	doba setrvání taveniny plastu v tavící komoře
t _m	[s]	doba manipulace
t _{pl}	[s]	doba plastikace
t _v	[s]	doba plnění



T_f	[°C]	teplota formy
T_{tav}	[°C]	teplota taveniny plastu
T_m	[°C]	teplota tání
T_g	[°C]	teplota zesklenní
W	[J]	korigovaná energie
a_{cA}	[kJ/m ²]	rázová houževnatost Charpy (pro tělesa s vrubem)
E_f	[MPa]	modul pružnosti v ohybu
σ_{fM}	[MPa]	napětí v ohybu



1 ÚVOD

Snahou všech výrobních podniků je uspět v silném konkurenčním boji. Nástrojem k tomuto cíli je zvyšování produktivity výroby, tj. při co nejnižších nákladech vyrobit co možná nejvíce výrobků při zachování vysoké úrovně kvality vyráběných produktů. V plastikářském průmyslu při procesech vstřikování je možné snižování času na výrobu jednoho kusu řešit několika způsoby. Pokud pomineme velké investice, jakými jsou například zvýšení násobnosti formy a s tím spojené zvyšování vstřikovací kapacity stroje, je nejjednodušší cesta zkrácení doby chlazení výrobku, a to snižováním teploty temperačního média.

Je třeba mít na mysli, že každá změna doby trvání chlazení má vliv na vnitřní strukturu materiálu, ze kterého je výrobek vyroben. Každá tato změna může mít výrazný vliv na mechanické vlastnosti výrobku a tím velice ovlivnit jeho kvalitu. Je proto nutné znát, do jaké míry doba, ale také teplota chlazení ovlivňuje vnitřní strukturu materiálu. Ta je závislá na velikosti oblastí a různé uspořádanosti vnitřní struktury. Vnitřní struktura materiálu se mění s rostoucí vzdáleností od povrchu formy ke středu výrobku a to tak, že s rostoucí vzdáleností od formy zrnitost materiálu roste, tj. ve středu jsou znatelnější útvary se specifickým tvarem, tzv. sférolity. Mechanické vlastnosti lze ovlivnit i různými aditivami a jejich poměrem k základnímu materiálu. Vliv těchto dvou faktorů, tj. teploty temperace forem a množství přidaného talku na mechanické vlastnosti výsledného produktu, je předmětem této diplomové práce. Diplomová práce se opírá o mikrosnímky dvou materiálů. Na fotografiích je možné rozpoznat několik oblastí s rozlišnou vnitřní strukturou. Rozsah oblastí je závislý na podmínkách chlazení. Toto vše má vliv na vlastnosti výsledného produktu, což je velice důležité znát především pro výrobky užívané v automobilovém průmyslu, kde je hlavní důraz kladen na bezpečnost a kvalitu. Všechna zkoumání jsou prováděna na dvou druzích materiálu, a to na čistém polypropylenu s označením PP ExxonMobil™ 1044 L1 a polypropylenu s označením PP Exxtral HMU 234 s 20 % talku.



2 TEORETICKÁ ČÁST

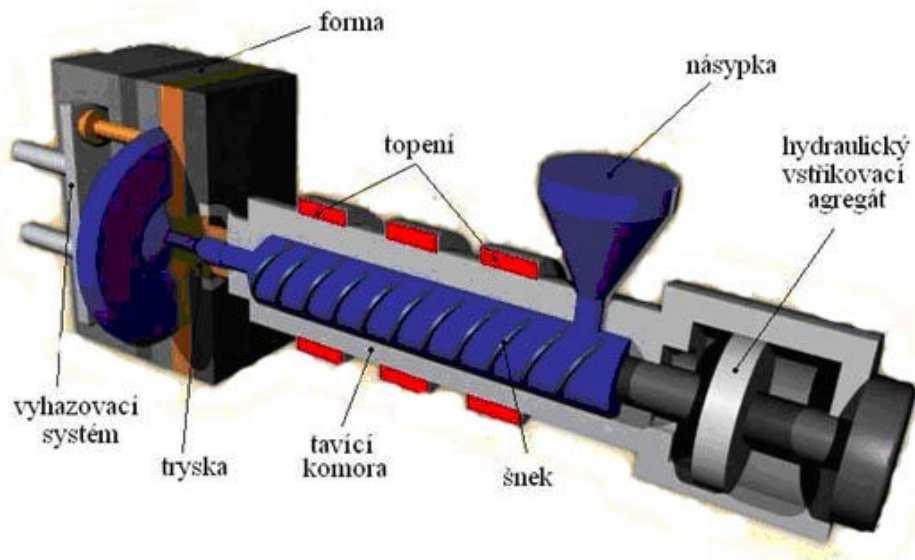
2.1 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ PLASTŮ

Technologie vstřikování plastů je dlouhodobě nejrozšířenější technologií pro výrobu plastových dílů, ať již jde o polotovary, jednotlivé konstrukční prvky anebo výrobky konečného charakteru. Význam této technologie stále vzrůstá nejen v automobilovém průmyslu, ale i v dalších průmyslových odvětvích. Stále nové modifikace plastů vyžadují i nové technologie vstřikování, jakými jsou např. vícekomponentní vstřikování, GIT, WIT a mnohé další. Díky této technologii lze zpracovávat téměř veškeré druhy termoplastických materiálů a v minimálním množství lze vstřikovat i reaktoplasty a kaučuky /1/.

Mezi jednoznačné klady výrobků vyráběných technologií vstřikování lze zařadit velmi dobrou tvarovou i rozměrovou přesnost a velmi dobré fyzikální a mechanické vlastnosti. Tento druh výroby se hodí pro velkosériovou či hromadnou výrobu a jedná se o cyklický, diskontinuální a anizotropický proces, během kterého je dávka zplastikovaného materiálu vstříknuta vysokou rychlostí z plastikační komory do uzavřené dutiny formy. V uzavřené dutině formy zplastikovaný materiál tuhne a stává se z něj požadovaný výrobek. Další součástí vstřikovacího stroje je tlaková neboli plastikační (tavící) komora. Tato komora je během samotného procesu vyhřívána na požadovanou teplotu. Při procesu vstřikování je do tavící komory materiál přiváděn z násypky. Výhodou vstřikování je krátký čas vstřikovacího cyklu. Pomocí této technologie lze vyrábět výrobky, které se již dále nemusí nijak upravovat /2/.

2.2 POSTUP PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Plast je v podobě granulátu nasypán do násypky vstřikovacího stroje, z níž je pomocí šneku odebírán do odporově vyhřívané plastikační, tavící komory. Tavící komora je vyhřívána topnými tělesy v podobě pásů. Jednotlivé části tavící komory mají své předem nastavené teploty a za spoluúčasti pohybu šneku tavi plast a vzniká tavenina. Schéma vstřikovacího stroje ukazuje obrázek 2.1.

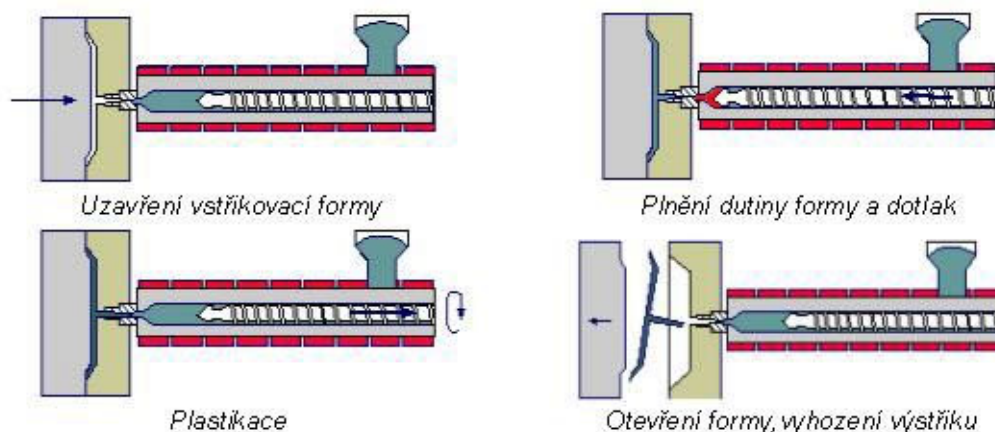


Obr.2.1 – Schéma vstřikovacího stroje /8/

Po zplastikování je tavenina axiálním pohybem šneku vstříknuta do dutiny vstřikovací formy, kterou zcela vyplní. Dalším krokem je působení dotlaku, který částečně eliminuje smrštění a tím i rozměrové změny výrobku. Odvod tepla z plastového dílu probíhá převodem tepla do formy, která je nejčastěji temperována vodou. Tavenina, která zcela zaplnila dutinu formy, přejímá její tvar a následným ochlazováním přechází do tuhého stavu. Posledním krokem je otevření formy a pomocí vyhazovače je výrobek vyhozen a následně se forma zavírá a celý proces (cyklus) se opakuje /3/.

Jednotlivé kroky vstřikování jsou znázorněny na obr. 2.2.

polštář

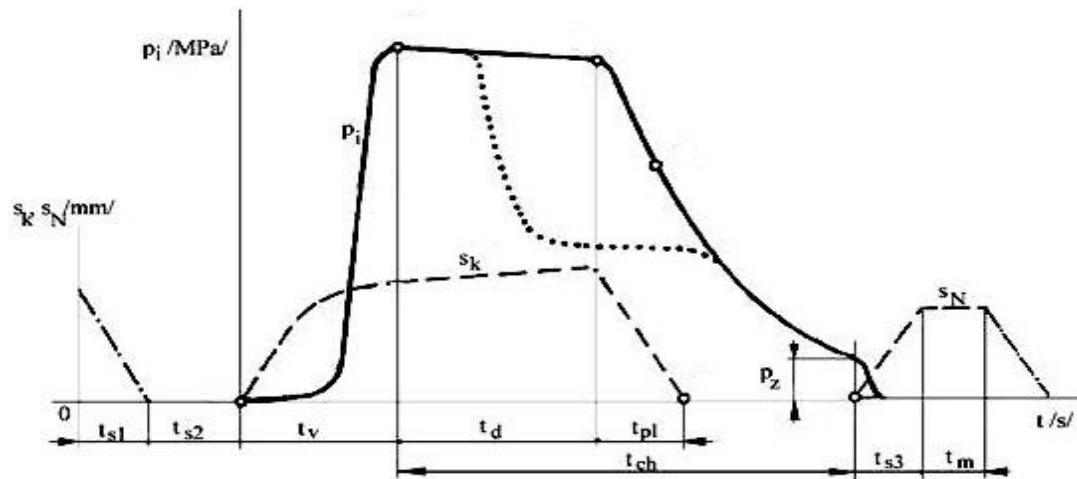


Obr. 2.2 - Fáze procesu vstřikování /2/

Konečným produktem operace vstřikování je tzv. výstřik. Volba vstřikovacího stroje závisí na **vstřikovací kapacitě Q_v** . Ta je určována dle velikosti (objemu) požadovaného výstřiku a zaručuje, jak objemný výstřik dokáže vstřikovací stroj vystříknout na jeden zdvih šneku. Při této volbě musí být brán ohled jak na velikost výstřiku, tak i objem materiálu, jenž zůstává ve vstřikovacích kanálech stroje. Další hodnotou při procesu vstřikování je **plastikační kapacita Q_p** . Plastikační kapacita udává, jaké množství plastu lze zplastikovat v plastikačním stroji během jedné hodiny. Tato hodnota je udávána v kilogramech za hodinu /2/, /3/.

V prvním kroku vstřikování je dutina formy prázdná a celá forma je otevřená. Po započetí procesu vstřikování dostane vstřikovací stroj impuls a uzavření proběhne automaticky. Forma se uzavírá a začíná působit přidržení v uzavřeném stavu pomocí uzavírací síly stroje (F_u). Dalším krokem je přijetí vstřikovací jednotky s již natavenou hmotou a za dopředného pohybu šneku začíná vlastní proces vstřikování. Po vstříknutí celé dávky plastu zůstává vstřikovací komora najetá na vstřikovací jednotce a šnek za otáčivého pohybu odjíždí směrem vzad a plastikuje další dávku.

Během vstřikování, kdy je do dutiny formy vstřikován plast o odlišných teplotách, než jsou teploty formy a dochází k předávání tepla, je plast částečně ochlazován a forma částečně ohřívána. Tento proces ochlazování a následného chlazení po vstříknutí provází celý proces až do doby opětovného otevření formy /2/. Průběh jednotlivých veličin při procesu vstřikování ukazuje obrázek 2.3.



Obr. 2.3 - Graf průběhu vnitřního tlaku při procesu vstřikování /2/

S_K – pohyb šneku (pístu) při vstřikování a dotlaku, S_N – pohyb formy, t_{s1} - strojní čas potřebný na uzavření formy, t_{s2} - strojní čas potřebný na přisunutí tavicí komory, t_{s3} - strojní čas potřebný na otevření formy, t_v - doba vstřikování, t_d - doba dotlaku, t_{ch} - doba chlazení, t_{pl} - doba plastikace, t_m - doba manipulace, p_i - vnitřní vstřikovací tlak, p_z - zbytkový tlak



2.2.1 STROJNÍ ČASY

Strojní časy jsou časy potřebné k jednotlivým úkonům procesu vstřikování a značí se t_s . Strojní čas na uzavření formy je značen t_{s1} a čas pro otevření t_{s3} . Velikost dráhy potřebné pro otevření formy, která je volen v závislosti na velikost výstřiku. V této vzdálenosti musí být zahrnut prostor pro manipulaci. Záměrem zefektivnění procesu vstřikování je redukce strojních časů na minimum /2/.

2.2.2 DOBA VSTŘIKOVÁNÍ

Doba tohoto cyklu je odvislá od technologických parametrů jako je teplota taveniny T_{tav} , rychlost pohybu šneku a hodnota vstřikovacího tlaku p . Doba tohoto procesu musí být relativně krátká. Je zde značné riziko nezaplnění celého prostoru vstřikovací formy v důsledku rozdílných teplot vstřikovacího média a teplot formy. Při dlouhých vstřikovacích časech je zde riziko ztuhnutí (zamrznutí) ústí vtoku. Následuje buď nedostříknutí tělesa tzv. zmetku, anebo nedojde vůbec k jeho vystříknutí z důsledku ztuhnutí plastu již v samotném vtoku. Doba plnění se označuje t_v . Dalším faktorem ve vhodné volbě tohoto parametru je náročnost vstřikovaného dílu (jak tvarová, tak i objemová) a použitý druh plastu /2/.

Faktorem ovlivňujícím dobu vstřikování je i vhodná volba vstřikovací rychlosti a vstřikovacího tlaku. Nelze zvolit nízkou hodnotu vstřikovacího tlaku a k ní přiřadit vysokou rychlost vstřikování. Pokud by se tak stalo, nepříznivě tím ovlivníme samotný výstřik. V případě složitých a tvarově náročných výrobků či u výrobků, kde je kladen důraz na vysokou kvalitu zpracování povrchových částí, se rychlost procesu vstřikování programuje. S nárůstem vstřikovací rychlosti se nám povrch výrobku zkvalitňuje, ale zvyšuje se zde i riziko degradování použitého vstřikovacího materiálu /2/.

2.2.3 DOBA DOTLAKU

Tato doba se označuje t_d a je to čas, po který musíme působit tlakem šneku na taveninu ve vstřikovací formě. Pokud bychom po vstříknutí nepůsobili dotlakem, následoval by zpětný únik neztuhlé taveniny zpět do tavící komory stroje a

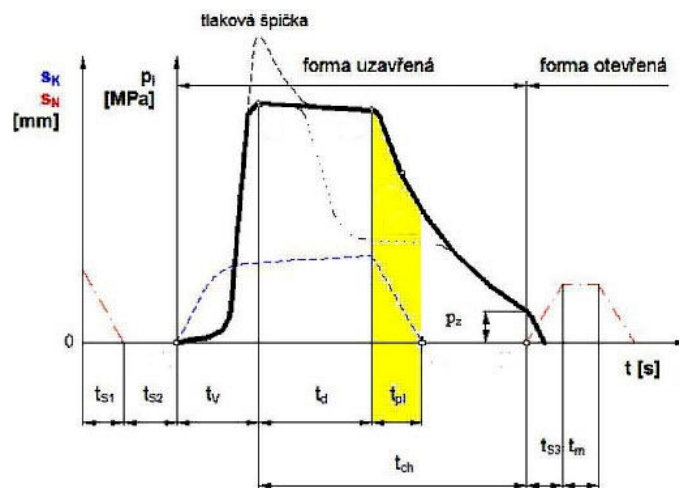


k propadlinám na výstřiku. O dotlak se stará šnek. Dotlak může být během procesu chlazení výrobku konstantní, nebo může být za určitou dobu snížen a další chladnutí výstřiku již probíhá za podmínek sníženého tlaku /3/.

2.2.4 DOBA PLASTIKACE

Je čas potřebný pro změnu granulátu ze skupenství pevného (granulí) ve skupenství tekuté (tavenina) a jeho rovnoměrného promísení. Tento strojní čas se označuje jako **doba plastikace** - t_{pl} (viz obr. 2.4). Během kroku plastikace se (optimální rozsah dráhy $1D \div 3D$) pohybem šneku vzad se zplastikovaná dávka dostává před čelo šneku tzv. polštář. Velikost polštáře musí být taková, aby zaplnila celou tvarovou dutinu a vtokový systém, a musí být schopná kompenzace možného smrštění.

Pro roztavení materiálu je zapotřebí určité množství tepla. O to se v určité míře stará zpětný pohyb šneku a zbytek zajišťuje odporově vyhřívaná komora. Poměr je 2/3 na pohyb šneku a 1/3 na elektrické odporové topení. Postup je následující: při pohybu šneku dochází ke hnětení materiálu, což má za následek nárůst tepla. Tento děj je doprovázen negativním snižováním zpětného tlaku, což

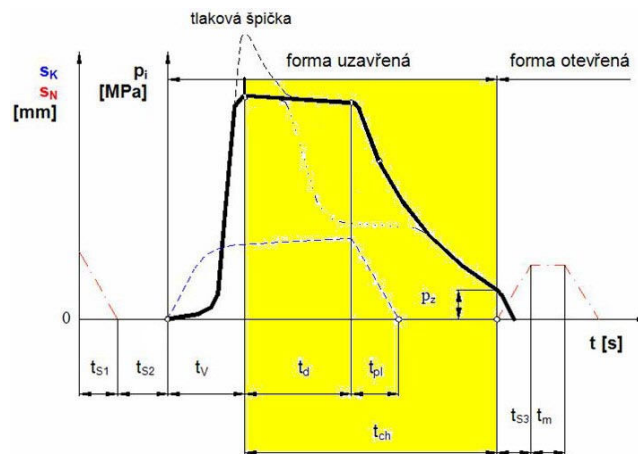


musí být kompenzováno jeho zvýšením /2/.

Obr. 2.4 – Doba plastikace t_{pl} /2/

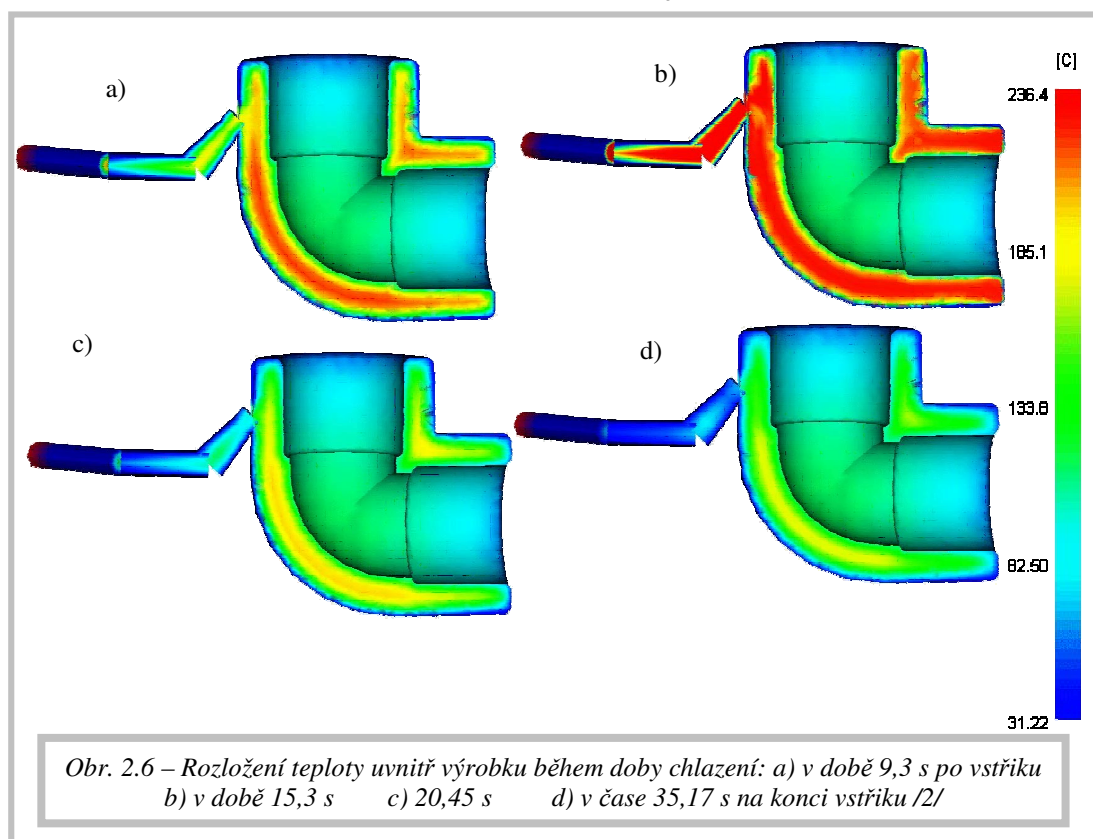
2.2.5 DOBA CHLAZENÍ

Tato doba probíhá již při prvním kontaktu taveniny se stěnami formy a přetrvává až do doby otevření formy a vyhození výstřiku je považována za nejdelší část vstřikovacího cyklu (viz obr.2.5). Dělí se na dobu se na dobu při plném vstřikovacím tlaku t_D a dobu bez tlaku. Na obrázku (viz obr. 2.6) je znázorněna



ukázka průběhu doby chlazení vstřikovaného výrobku tvaru potrubního kolena /2/, /3/.

Obr. 2.5 - Doba chlazení t_{CH} /2/

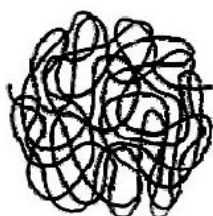




Velikost této doby je odvislá od náročnosti a tloušťky vstřikovaného kusu a dalších faktorech, kterými jsou teplota formy, taveniny, výstřiku a hlavně na druhu použitého plastu. Tato část vstřikování ovlivňuje mnohé další aspekty, kterými jsou struktura, krystalizace, vnitřní napětí, ale i kvalitu povrchu /2/.

2.3 MORFOLOGIE PLASTŮ

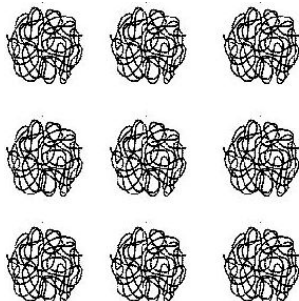
Morfologie plastů studuje uspořádání, tvar a strukturu polymerních molekul v krystalických a amorfních oblastech. Často se však tento termín používá i v přeneseném slova smyslu a morfologií se pak rozumí její uspořádanost na nadmolekulární úrovni, která je dána jednak strukturními předpoklady plastu / 4 /, ale také kinetickými podmínkami (tj. tedy teplotou a časem při tuhnutí plastu).



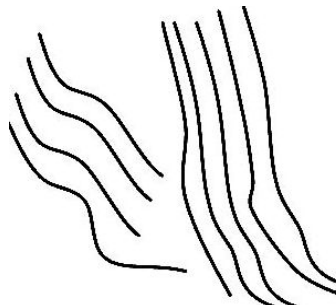
Obr. 2.7 – Globula /2/

U amorfních polymerů jsou základním morfologickým útvarem globuly (viz obr.2.7), jinak také klubíčka. Globuly jsou velikostí 10 – 30 nm a tvoří je shluk sbalených makromolekul. Makromolekuly se mohou seskupovat ve složitější útvary, ale i v těchto útvarech si každá globule zachovává svůj specifický charakter právě pro ni daný. Za působení vnějších sil se začnou makromolekuly orientovat, dochází k rozbalování klubíček a vzniku nového útvaru, takzvanému svazku (viz obr. 2.8).

Svazky tvoří rovnoběžné rozvinuté makromolekuly (viz obr. 2.9). Rozvinuté makromolekuly vypadají jako nepravé krystality.



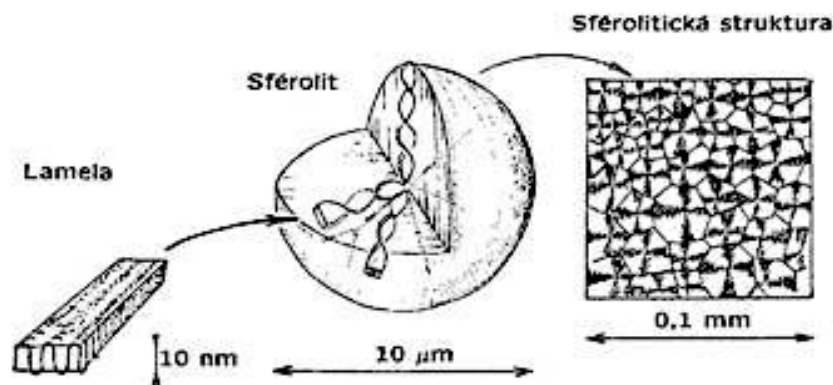
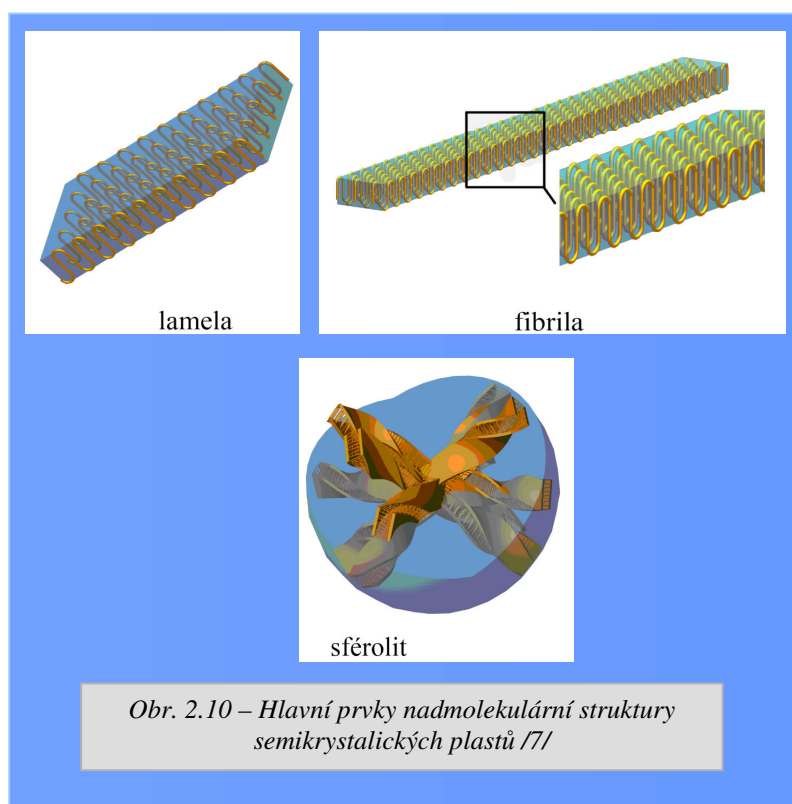
Obr.2.8 – Svazky globul /2/



Obr. 2.9 – Rozvinuté makromolekuly /2/

Základní morfologické útvary krystalické struktury

Pro ideálně krystalickou strukturu (připravenou z roztoku) jsou základními morfologickými útvary *lamely* a *fibrily*. Lamely a fibrily jsou pravidelně složeny z jednotlivých „proužků“ makromolekul (viz obr. 2.10). V reálných podmínkách vstřikování nemají krystalické polymery možnost dokonalé krystalizace. Dále se skládají v energeticky příznivější obrazce a jejich představitelem jsou sférolity (obr. 2.11), jež mají v ideálním případě kulový tvar. Jejich tvorba je daná postupným nárůstem shluků lamel vycházejících ze společného centra a rozrůstajících se do všech stran.



Obr.2.11 - Sférolitická struktura semikrystalických termoplastů /2/

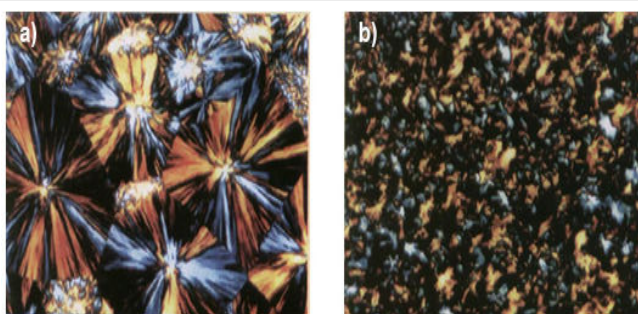


Krystalizující polymery při reálných podmínkách nemají možnost dokonalé krystalizace. Díky tomu se krystalizace zúčastňuje jen určité procento polymeru a nikoli veškerá polymerní hmota a právě díky tomuto aspektu je část tvořena amorfnní formou a část krystalickou. Právě proto se často užívá názvu *semikrystalické polymery* a míru uspořádanosti struktury v nich vyjadřuje *stupeň krystalinity*.

Pro vznik této struktury je nutná tvorba *krystalizačních zárodků* neboli nukleace, které se docílí ochlazováním amorfnní struktury dané taveniny. Mezi teplotami zesklenní T_g a teplotou tání T_m však k nukleaci nedochází.

Velice důležitým faktorem ovlivňující strukturu krystalické fáze je čas a teplota. Aby výsledný produkt vykazoval co nejlepší mechanické vlastnosti, musí mít dostatečnou dobu na tvorbu co největšího množství zárodků a současně jemnozrnné struktury.

Při prudkém ochlazení povrchu sice výrobek zkrystalizuje, ale tvorba sférolitické struktury zde neproběhne. Příkladem jemnozrnné struktury je polypropylen, ve kterém byl použit jako nukleační činidlo talek (viz obr. 2.12). Tato



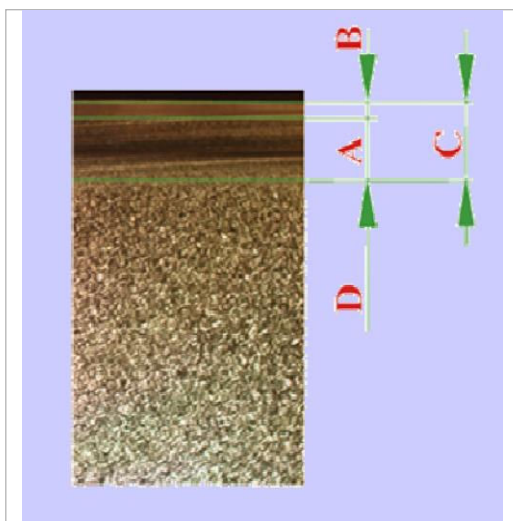
Obr. 2.12 - Polypropylen s použitím nukleačního činidla (talek)
a) bez nukleačního činidla b) s nukleačním činidlem /5/

problematika je podrobněji řešena níže v kap. 2.4.1 /2/,/3/,/4/,/5/.

2.3.1 HODNOCENÍ MIKROSTRUKTURY

Během procesu vstřikování termoplastů, respektive při stádiu tuhnutí, dochází ke vzniku tří složek průřezu tloušťky výrobku, jejichž poměrné zastoupení v tloušťce a jejich strukturní podoba ovlivňuje také významným způsobem mechanické vlastnosti vstřikovaných dílů. První složkou je povrchová vrstva, jež vzniká v oblasti přiléhající k povrchu dutiny formy. V tomto místě dochází k rychlému ochlazování

plastu v relativně krátké době. Důvodem je styk plastu s formou, která je chladnější než samotná tavenina plastu. Druhou ze složek je tzv. jádro. V tomto místě dochází již k pomalejšímu ochlazování a to díky snižování intenzity odvodu tepla směrem ke středu tloušťky výstřiku. Třetí složkou je tzv. přechodová vrstva. Tato vrstva je výsledkem sdruženého působení rychlého odvodu tepla, jež je charakteristické pro povrchové partie průřezu tloušťky a působením pomalejšího odvodu tepla z partií bližších ke středu tloušťky. Jak již sám název napovídá, jedná se o jakýsi strukturní přechod mezi strukturou typickou pro oblast jádra a povrchovou vrstvou. Pro hodnocení vlivu jednotlivých vrstev se v praxi za celkovou povrchovou vrstvu považuje součet tloušťky přechodové a povrchové vrstvy (viz obr. 2.13) /5/.



Obr. 2.13 – Charakteristické mikrostrukturní složky průřezu tloušťky vstřikovaného dílu

A přechodová vrstva, B povrchová vrstva,
C celová povrchová vrstva, D jádro /5/

Velikost a strukturní podoba složek podílejících se na výsledných vlastnostech výstřiku se do určité míry může odlišovat podle typu použitého vstřikovacího materiálu. Důvodem je jednak chemické složení materiálu, použitý druh a obsah plniva v materiálu a v neposlední řadě podle kinetických podmínek během zpracování.

Není však pravidlem, že možnost aplikace tohoto poznatku je platná pro všechny druhy polymerních materiálů. Pro konkrétní materiál je tento rozbor proveden v experimentální části diplomové práce.

Princip tohoto procesu spočívá v tom, že důsledkem rychlého ochlazení v povrchové vrstvě vzniká velké množství krystalizačních zárodků. Tento děj však není provázen nárůstem sférolitů, což je nežádoucí. Opačným případem je stav, kdy v jádru, kde panují opačné tepelné poměry v porovnání s povrchovou vrstvou, dochází vlivem pomalejšího ochlazování ke vzniku menšího počtu krystalizačních zárodků a následnému nárůstu již makroskopicky pozorovatelných sférolitů. Nutno však dodat, že stupeň krystalinity v jádru i na povrchu tělesa je přibližně stejný.



Požadavky na výrobek jsou vždy co nejvyšší. Pro zlepšení pevnosti a dalších vlastností je nutné, aby byl proces krystalizace řízen tak, aby byl zaručen jak co nejvyšší možný stupeň krystalinity, tak i co nejlepší jemnozrnnost struktury. Tohoto lze docílit kupříkladu za použití nukleačního činidla. Nukleační činidlo usnadňuje počátek krystalizace, zvyšuje počet krystalizačních zárodků a zjemňuje krystalickou strukturu samotného polymeru.

Zmiňované děje jsou průvodním jevem tvorby morfologické struktury polymeru, během přechodu z kapalné fáze do fáze tuhé. Tento jev je spojen s tzv. primární krystalizací. Během fáze primární krystalizace mají sférolity dostatek času ke svému růstu. V případě, že dojde ke zkrácení potřebného času a to především u plastů s nízkou rychlostí růstu sférolitů (viz tab. 2.1), může dojít k předčasnému ukončení krystalizace. Toto sebou nese riziko, že v případě následného zahřátí vstřikovaného dílu, například při jeho použití, dojde k jeho následné dokrystalizace. Pojmem dokrystalizace rozumíme fázi sekundární krystalizace, která sebou nese nechtěnou změnu mechanicko-fyzikálních vlastností i změnu rozměrů a tvaru výrobku [2]/[4]/[5].

Tab. 2.1 – Příklady rychlostí růstu sférolitů určitých druhů polymerů

Druh polymeru	Rychlost růstu sférolitů [μm/min]
PE	2000
PA 6.6	1200
POM	400
PA 6	200
PP (izotaktický)	20
PET	7
PS (izotaktický)	0,25

2.4 VLIV TEMPERACE (CHLAZENÍ) FORMY NA VLASTNOSTI A MORFOLOGII VÝSTŘIKU

Kvalita výstřiku je během vstřikování ovlivňována mnoha faktory. Každý se na kvalitě výstřiku podílí jinak. V případě, že je změněn jeden z parametrů, jsou souběžně ovlivněny i parametry další. Ukazateli pro kvality výrobku jsou:

- zvolený druh plastu
- konstrukční provedení vstřikovací formy
- volba stroje
- konstrukce výstřiku



- technologické parametry vstřikování (podmínky temperace, vstřikovací rychlost, charakteristika dotlaku apod.)



Pro zvolení nejvhodnějšího druhu plastu je nutno uvažovat následující kritéria:

- reologické vlastnosti uvažovaného plastu
- rychlost plastikace
- tepelnou stabilitu, případně těkavost
- smrštění a případné vnitřní napětí ve výstřiku

Vzhledem k tématu diplomové práce je v této kapitole věnována pozornost především vlivu temperace formy na morfologii výstřiků.

Temperace vstřikovacích forem souvisí s přeměnou tepla uvnitř formy během fáze chlazení a musí zajistit dokonalé plnění tvarové dutiny formy, optimální tuhnutí a chladnutí výstřiku. O to se stará temperační systém, jenž udržuje stálost teploty formy po celou dobu procesu na určité hodnotě a ve stanovených teplotních tolerancích. Proces tuhnutí a chladnutí výstřiku začíná již ve fázi vstřikování a prochází celým procesem přes jeho jednotlivé fáze a trvá až do fáze otevření formy a vyhození výstřiku. Jedná se o nejdelší cyklus v procesu vstřikování a je doprovázen změnami stavových veličin vstřikovaného polymeru /10/.

Ve fázi chlazení je běžné, že materiál mění svůj objem a smršťuje se. Vzhledem k tomu může docházet k propadlinám na výstřiku anebo k vnitřním staženinám. Těmto vadám se předchází korekcí doby chlazení a její intenzity, avšak ve většinové míře korekcí dotlaku taveniny do formy, tedy postupným doplňováním dutiny formy dalším materiálem. Musí však být brán zřetel na objem plastu čili polštáře, aby byl umožněn tento krok. Toto množství odpovídá přibližně 10 až 15 %. Poměr musí být vyvážen tak, aby nedocházelo ani k vyčerpání materiálu a ani k hromadění nadměrného množství, při němž by docházelo k degradaci materiálu.

Chlazení výstřiku po dotlaku i plastikaci nové dávky je provázeno poklesem tlaku až na mez zbytkového tlaku p_z , který je ve své podstatě tlakem při otevírání formy. Pokud bude zbytkový tlak příliš vysoký, může docházet k samovolnému praskání výrobků v důsledku velkého vnitřního napětí materiálu. Této nežádoucí poruše lze předejít korekcí strojních časů, respektive času určeného pro dotlak anebo proměnlivým stupněm tlaku ve fázi dotlaku. Následuje otevření formy a vyhození výstřiku /2/.



2.4.1 KRYSTALICKÉ USPOŘÁDÁNÍ, STUPEŇ KRYSTALINITY A PRŮBĚH KRYSTALIZACE

Během fáze chlazení výstřiku dochází k utváření hlavních prvků nadmolekulární struktury (morfologie) plastů, které jsou dány strukturními předpoklady plastu, ale také kinetickými podmínkami během jeho chlazení. Polymerní těleso se vyznačuje dvěma stupni uspořádání, které doprovázejí proces krystalizace polymeru. Jedná se o náhodně se střídající oblast krystalickou s oblastí amorfní. Poměr těchto oblastí neboli celkovou míru uspořádanosti vyjadřuje tzv. stupeň krystalinity, který je definován jako podíl objemu všech krystalických oblastí a celkového objemu polymeru /3/.

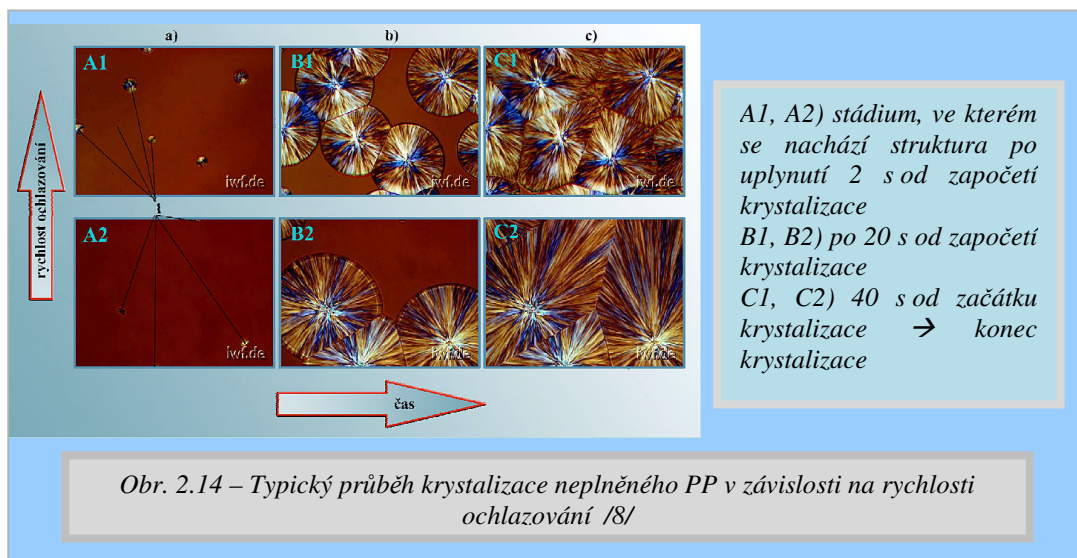
Vliv temperace má velký význam na výsledné mechanické vlastnosti výstřiku. Jak vlastností mechanických, tak morfologických (nadmolekulární struktura). Zejména pak tepelné poměry notně ovlivňují podobu morfologie. Právě temperace je jednou z možností, jak tyto tepelné poměry řídit, a právě proto je zřejmé, že temperace má významný vliv na morfologii a tím pádem i na mechanické vlastnosti samotného výstřiku /5/.

Pojmem nukleace se rozumí tvorba krystalizačních zárodků. Díky tomuto procesu vzniká semikrystalická struktura plastu. K nukleaci dochází mezi teplotou tání krystalů T_m a teplotou zesklenní T_g . Při pomalém ochlazování z teploty T_m vzniká pouze malé množství krystalizačních zárodků (viz obr. 2.14 – A2). Na těchto zárodcích při dalším průběhu nukleačního procesu dochází k nárůstu krystalických útvarů již v rozměrnější prvky (viz obr. 2.14 – B2) nadmolekulární struktury a vytváří tzv. „hrubozrnnou“ strukturu (viz obr. 2.14 – C2).

Opakem této struktury je struktura „jemnozrnnější“ (viz obr.2.14– C1) a té lze dosáhnout rychlejším ochlazováním. Díky tomu se tvoří poměrně větší množství zárodků (viz obr. 2.14 – A1). Faktorem, jenž udává výslednou podobu morfologické struktury polymeru, je tedy časový horizont. Je tím myšlena doba, která je dána polymeru pro tvorbu morfologické struktury.

Rychlost nukleace a s ní spojená rychlost růstu krystalů a děje s nimi spojené jsou výsledkem laboratorních studií v rámci procesu krystalizace polymerních materiálů. V praxi však dochází k určité modifikaci zmiňovaných dějů v důsledku samotného zpracování polymerních materiálů a hlavně technickými možnostmi

procesu. Druhým faktorem ovlivňující tyto studie je použitý druh materiálu a rozdíly v mikrostrukturách průřezů daných tloušťek /5/,/7/.



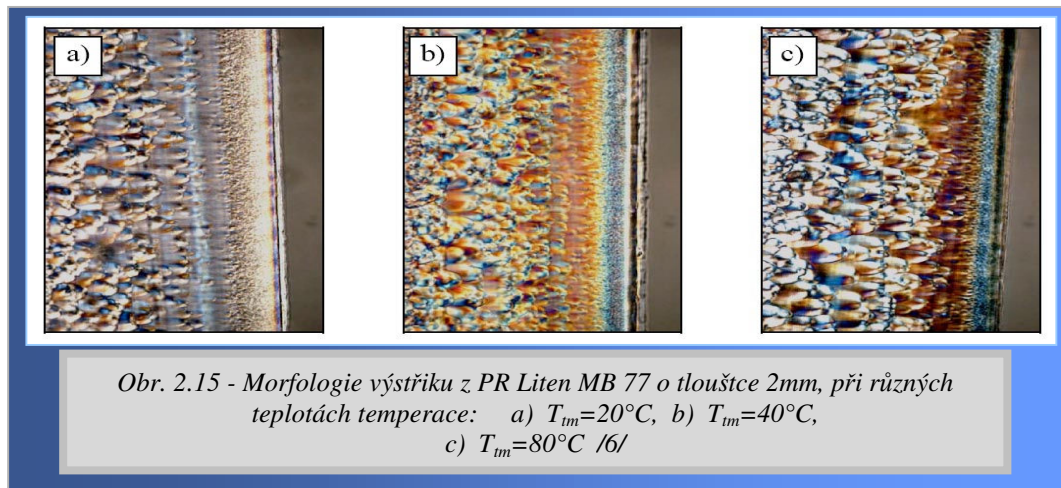
2.4.2 VLIV TEMPERACE NA MORFOLOGII VÝSTŘIKU

Morfologií polymerních výstřiků, (resp. semikrystalických termoplastů), rozumíme tvorbu polykrystalických útvarů, neboli sférolitů, a děje se tak v důsledku tuhnutí reálných výrobků. Tento děj je vázán jednak na strukturní předpoklady, ale také na vhodné kinematické podmínky související s pohyblivostí makromolekul. Vhodnost kinematických podmínek závisí na teplotě a době tuhnutí plastu. Celkově tedy na podmínkách temperace. V případě, že nejsou zaručeny stejné podmínky temperace během stádia tuhnutí, dochází v důsledku toho k nerovnoměrné krystalizaci a následně ke vzniku materiálu s výrazně nehomogenními (anizotropními) vlastnostmi. Nutno dodat, že polymery během krystalizace nemají za běžných podmínek technologického zpracování možnost dokonalého procesu krystalizace, a právě proto se u nich uvádí, že se jedná o látky semikrystalické. Míra krystalinity se udává tzv. stupněm krystalinity, který znázorňuje poměrné zastoupení krystalických oblastí v polymeru jako takovém. Aby bylo dosaženo co nejvyššího stupně krystalinity, který se rozšíří až do oblastí povrchových vrstev výstřiku, je nutné zajištění vysokých teplot formy. Nadměrné ochlazování anebo nízké teploty jednotlivých částí vstřikovací formy brání tvorbě sférolitů. V případě výrobků s následným teplotním působením dochází v důsledku rychlého chlazení k tzv.



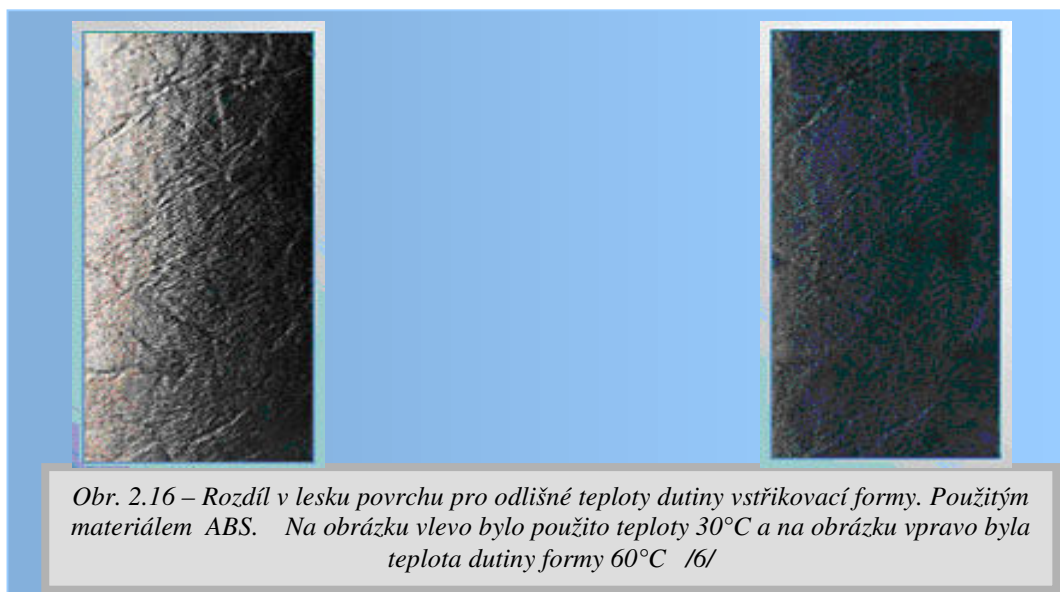
dokrystalizaci. Tento faktor sebou nese dodatečnou, nepříznivou změnu vlastností výstřiku a v neposlední řadě i jeho rozměrů /6/.

Jak se liší morfologie výstřiku materiálu PR Liten MB 77 o tloušťce 2mm při různých teplotách temperace lze vidět na obrázku 2.15.



2.4.3 VLIV TEMPERACE NA VÝSLEDNÝ POVRCH

Hodnotícím prvkem pro výrobek je mimo již zmiňovaných faktorů (rozměrová přesnost a stálost, mechanické vlastnosti atd.) kupříkladu i jeho povrch. Ve smyslu hodnocení povrchu se jedná o faktory jako je lesk nebo také matnost. Tyto jsou ovlivněny schopností daného povrchu rovnoměrně rozptýlit dopadající světelné paprsky. Toto je patrné na (obr. 2.16), kde je znázorněn rozdíl v lesku u identických výrobků, avšak za použití různých teplot vstřikovací formy /6/,/7/.





2.5 POLYPROPYLEN

2.5.1 CHARAKTERISTIKA POLYPROPYLENU

Polypropylen se řadí do skupiny termoplastů nazývaných polyolefiny, které se vyznačují následujícími vlastnostmi.

Z hlediska nadmolekulární struktury se jedná o plasty semikrystalické, které vykazují určitý náznak uspořádanosti vnitřní struktury (50 % a více), vykazují dobrou pevnost a za běžných teplot i přijatelnou houževnatost, která závisí na stupni krystalinity.

Vezmeme-li v úvahu časové hledisko, tak se jedná o velmi mladý plast. Stáří polypropyleny se pohybuje někde okolo 50-ti let. Vezmeme-li v úvahu jeho širokou škálu použití, tak se v žebříčku používaných plastů vyšplhal až na druhé místo hned za polyetylenem. Polypropylen se dá snadno přizpůsobovat jednotlivým potřebám v průmyslových odvětvích, protože lze velice jemně ovlivňovat katalytické vlastnosti metalocenových katalyzátorů.

Obsáhlé výzkumy poukázaly na snadnou zpracovatelnost tohoto termoplastu běžnými způsoby pro ně typické. Škála jeho uplatnění je rozsáhlá a jeho hlavní použití spadá do oblasti automobilového průmyslu a oblasti kompozitních materiálů. Mezi jeho nesporné přednosti patří velice snadná úprava vlastností. Úpravu mechanických a fyzikálních vlastností polypropyleny lze dosáhnout použitím různých druhů aditiv a mezi jeho nesporné klady patří především přijatelná cena a snadná recyklovatelnost. Nejedná se o materiál, jehož zpracovatelnost je nekonečná, protože i počet použití je limitován. K degradaci dochází především při vysokých teplotách, avšak v teplotách na bodu mrazu (a níže) začínají tyto materiály křehnout. Jak již bylo řečeno, polypropylen nachází v posledních letech významné uplatnění v oblasti kompozitních materiálů a v kombinaci s rostlinnými vlákny dosahuje výborných mechanických vlastností a dobrou recyklovatelnost. V dalších odvětvích průmyslové výroby nachází polypropylen uplatnění při výrobě např. lopatek ventilátorů, trubek, desek, různých krytů elektrospotřebičů, trubek, klimatizačních jednotek, aj. /3/,4/,9/.



Polypropylen je termoplastický polymer ze skupiny polyolefinů používaný v mnoha odvětvích: potravinářství, textilní průmysl, strojní průmysl a mnohé další. Polypropylén vyniká velmi dobrou chemickou a mechanickou odolností. Má přidělené mezinárodní číslo pro plasty 5. V roce 2001 dosáhla roční světová produkce polypropylénu 30 miliónů tun /11/.

Monomerem pro výrobu polypropylenu je propylén. Chemické složení tohoto monomeru je $(CH_2 = CH - CH_3)$. Tento monomer je jednou z nejdostupnějších petrochemických surovin. Propylén vzniká jako vedlejší produkt při krakování nafty. Ale toto není jediný způsob výroby. S velice dobrým výsledkem lze propylén vyrábět i pyrolýzou zemního plynu.

Při výrobě polypropylenu bylo poprvé v průmyslovém měřítku použito stereospektické polymerace, při které se tvoří polymer s určitým prostorovým uspořádáním. Zmiňovaného efektu se dosáhne za použití katalyzátorů. Tyto katalyzátory jsou nejčastěji používány v kombinaci s $TiCl_4$ a $Al(C_2H_5)_3$ /4/.

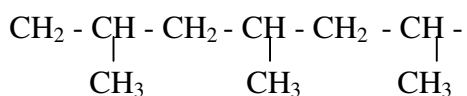
Polymerace obvykle probíhá při $80\text{ }^{\circ}C$ a tlaku 3 MPa. Polypropylen se přivádí do n-heptanu, ve kterém je rozptýlen katalyzátor, a následně vzniká suspenze polypropylenu. Tato suspenze se odstřeďuje, propírá metanolem a vodou, aby se zbavila veškerých nežádoucích součástí. Vzniká tedy polypropylen, který se dále suší a následně granuluje /3/,/4/,/11/.

2.5.2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ A STRUKTURA POLYPROPYLENU

Řetězec polypropylenu je tvořen uhlíkovými atomy, přičemž každý druhý atom uhlíku nese boční metylovou skupinu (viz obr.2.17). Podle umístění metylové skupiny v prostoru vznikají tyto základní druhy polypropylenu:

➤ **Izotaktický**

tento polymer vzniká tehdy, pokud jsou všechny metylové skupiny orientované k rovině pouze jedním směrem.



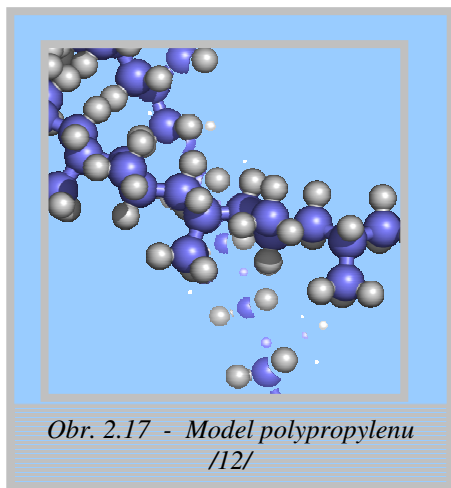
➤ **Syndiotaktický**



v případě syndiotaktického polymeru se boční skupiny pravidelně střídají nad i pod rovinou základního řetězce.

➤ **Ataktický**

v tomto polymeru je uspořádání metylových skupin zcela nahodilé /3/.



Jednotlivé typy stereoregulárních polypropylenů se mezi sebou svými vlastnostmi značně liší. Avšak nejvýhodnější vlastnosti vykazují izotaktický a syndiotaktické polypropyleny. A právě proto by jich polymer měl obsahovat co nejvíce, alespoň 90 % a ataktického podílu má být naopak co nejméně. Řízení polymerace tedy představuje jednu z cest, jak významným způsobem ovlivňovat

fyzikální a mechanické vlastnosti polymerů. Jako další možnost se nabízí příprava polymerních směsí mísením dvou samostatně vyrobených polymerů. Toto mísení se provádí po plastifikování obou složek inertním hnětením při zvýšené teplotě. Podobně se dříve vyráběl houževnatý polystyrén z polystyrénu a kaučuku (S/B). Ve výsledném produktu jsou zastoupeny všechny struktury. Nejpriznivější vlastnosti má polymer izotaktický. Právě proto ho má být v polypropyleny obsaženo alespoň 80 %. Zatímco izotaktický polypropylen se chová jako typický krystalický polymer, ataktický polymer vykazuje vysokou plastickou deformaci při nízkém napětí a tečení za studena s vysokou rozpustností a nízkou tepelnou odolností.

Molekuly polypropylenu jsou prakticky lineární a jejich molekulová hmotnost bývá až 10^4 /3/. Velikost a zpracovatelnost molekul se pro nízkou rozpustnost polypropylenu hodnotí pomocí indexu toku. Polypropylen se svými vlastnostmi hodně podobá polyetyleny a ve většině případů jej i předčí /3/, /4/, /12/.



2.5.3 MECHANICKÉ VLASTNOSTI PP

Polypropylen při normálních teplotách velmi dobře odolává rázům, avšak s poklesem teploty se tento druh odolnosti snižuje, a proto se nedoporučuje používat samotný polypropylen pod teplotu 0 °C. Jeho tuhost je ovlivněna stupněm krystalinity. Povrchová tvrdost je vyšší než u polyethylenu. Polypropylén má poměrně dobrou odolnost vůči opotřebení a blíží se v tomto směru polyamidům a stejně je tomu i s kluznými vlastnostmi /11/.

2.5.4 TEPELNÉ VLASTNOSTI PP

Krystalické oblasti polypropylénu tají v rozmezí teplot 160 °C – 170 °C. Výrobky je možné používat při trvalém zatížení do teploty 100 °C, avšak krátkodobě až do 130 °C. Bod křehnutí PP leží mezi teplotami 0 °C – 5 °C a teplota zesklenní je -15 °C až -20 °C /11/.

2.5.5 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI PP

Jeho elektrické vlastnosti jsou jen nepatrně horší než u polyethylenu. Vnitřní měrný odpor je asi $10^{20} \Omega \cdot \text{m}$ a průrazová elektrická pevnost kolem 35 kV.mm⁻¹. Polypropylén se ve vysokofrekvenčním poli nezahřívá. Jeho nepolární charakter způsobuje, že neabsorbuje vodu ani vlhkost. S touto vlastností úzce souvisí i to, že pokud polypropylen uložíme do vody, tak nám nemění elektrické vlastnosti z důvodu neabsorbování vody a vodní vlhkosti /11/.

2.5.6 OPTICKÉ VLASTNOSTI PP

V případě optických vlastností máme hned několik možností, za kterých se jeho mechanické vlastnosti mění. Jako jeden z možných ukazatelů těchto vlastností je například tloušťka zkoumaného subjektu. Samozřejmě, že čím je zkoumaná součást slabší, tím budou její optické vlastnosti lepší a s narůstající tloušťkou stěny se tyto vlastnosti mění. U tenkých folií je průhlednost na stupni čirosti a s narůstající tloušťkou se dostává v optických vlastnostech až na mléčné zabarvení /11/.

2.5.7 ROZPUSTNOST PP



Polypropylen je netečný vůči polárním látkám jako je například voda, alkoholy anebo organické kyseliny. Avšak v organických nepolárních rozpouštědlech jako je benzín, benzen, toluen, xylen a chlorované uhlovodíky bobtná již za studena. Je rozpustný ve stejných rozpouštědlech jako polyethylen, jen teploty rozpuštění jsou o něco vyšší 80 °C až 120 °C. Proti korozi za napětí je odolnější než polyethylen/11/.

2.5.8 PROPUSTNOST PLYNŮ A PAR PP

V otázce propustnosti hraje velkou roli uspořádání krystalů daného prvku. Například u dvousměrně orientovaných fólií je tato propustnost oproti neorientovaným fóliím poloviční. V místech poruch krystalických oblastí, jež se nacházejí na rozhraní krystalické a amorfni fáze, často dochází k difúzím /11/.

2.5.9 OSTATNÍ VLASTNOSTI PP

Polypropylen je látka bez zápachu, bez chuti, v případě hoření je dosti aromatický. Je zdravotně nezávadný /3/,/4/,/5/,/11/.

2.6 TALEK

2.6.1 VZNIK TALKU

Talek nebo také mastek (viz obr. 2.18) vzniká v lokalitách vyvěřelých hornin. Tento druh hornin je poslední fází oddělení zemského magmatu při teplotách na hranicích 500°C za přítomnosti vody. Jedná se o horniny bohaté na obsah hořčíku a působí zde i roztoky obsahující CO₂. Mezi největší ložiska tohoto minerálu patří okolí New Yorku, Vermontu, Virginie a další /13/.



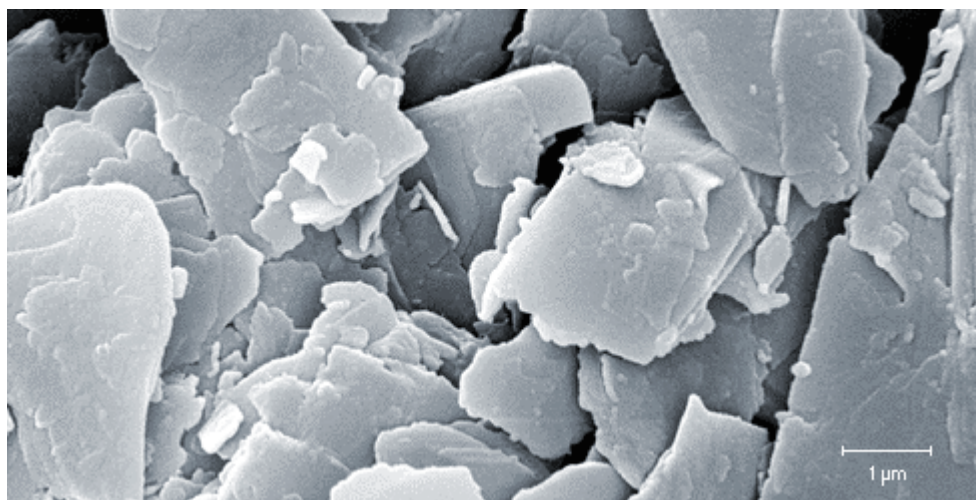
Obr. 2.18 - Talek v přírodní podobě /13/

2.6.2 POUŽITÍ TALKU

Vzhledem k dobrým chemickým, elektrickým a žáruvzdorným vlastnostem nachází talek širokou škálu uplatnění v průmyslovém odvětví. V elektrotechnice se používá na výrobu izolátorů. Díky dobré teplotní odolnosti se používá ve slévárenství a sklářství na pecní vyzdívky. Uplatnění nalézá také jako plnivo do papíru, barvy, gumy aj. Nalezneme jej i ve stavebnictví, kde se užívá na výrobu různých druhů obkladů a desek. Lze použít také při výrobě asfaltu či jako materiál vhodný na psaní. Talek se v hojné míře používá ve sportu. Je ho za potřebí všude tam, kde chceme mít zajištěn dobrý kontakt: vzpírání, horolezectví, atletika, arm wrestling a mnohé další /13/.

2.6.3 MORFOLOGIE A VLASTNOSTI TALKU

Z hlediska morfologie se tento nerost velice často vyskytuje ve formě šupin (viz obr. 2.19), lupínků nebo jemných zrn. Výjimku tvoří krystaly v podobě šestibokých tabulek.

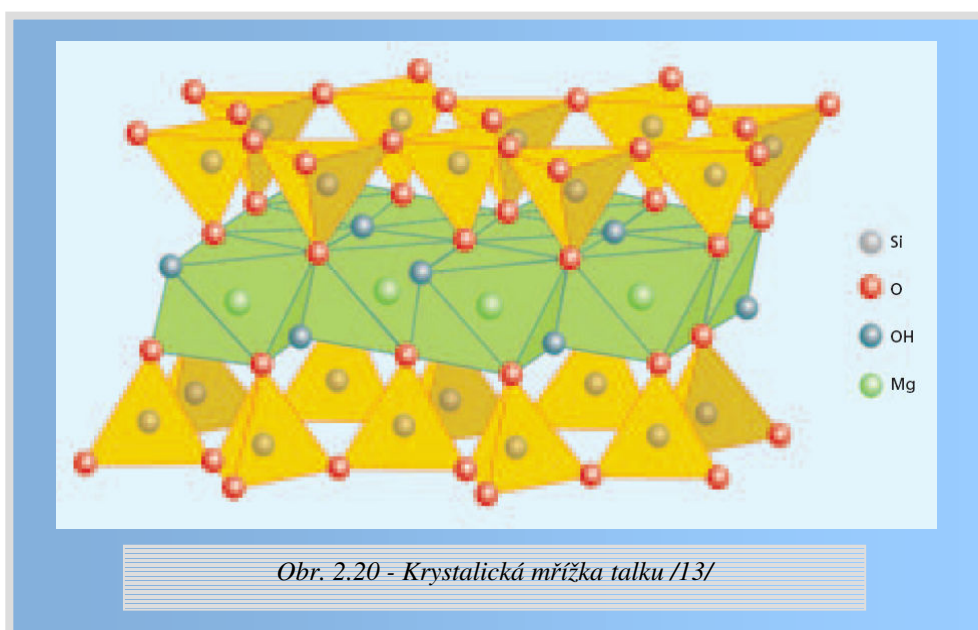


Obr. 2.19 – Mikrosnímek šupin talku /13/

Čistý talek je nejměkčí ze všech minerálů s Mohsovou tvrdostí 1. Je hydrofobní a odolný proti chemikáliím. Jeho hustota se pohybuje mezi hodnotami 2,58 – 2,83 g/cm³. Je štěpný, pružný, ale neelastický, a tudíž se při deformacích láme. Jeho lom je nerovný. Barevné spektrum talku je rozmanité a jeho barevné struktury jsou bílá, světle až tmavě zelená, nahnědlá, nažloutlá až tmavomodrá.

Odlesk je perleťový nebo jen lesklý a je průhledný, mnohdy až průsvitný. Barva vrypu je bílá. Tvoří ho vrstvy hydroxidu hořčíku a křemičitanů, chemický vzorec je $\text{Mg}_3 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$. Talek se v kyselinách nerozpouští, ale pokud jej začneme žíhat, tak tvrdne. Tento materiál je na dotek mastný. Je špatným vodičem tepla a elektrické energie. Absorbuje tuky, pryskyřice a některé druhy barviv.

Talek se skládá z vrstev hydroxidu hořečnatého ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) umístěného mezi dvě vrstvy oxidu hořečnatého (SiO_2) (viz obr. 2.20). Hlavním důvodem použití talku v plastech je snižování smrštění plastu a tím zajištění odpovídající rozměrové a tvarové přesnosti výstřiku. Protože se však jedná o nukleační činidlo, dochází ke změně morfologie plastu, tj. k zvýšení obsahu krystalického podílu a k tvorbě krystalitů menších rozměrů. Tato morfologická změna má za následek změnu vlastností výstřiků, tedy i jeho pevnost, houževnatost, modul pružnosti v tahu i v ohybu apod. /13/.



Talek se snadno štěpí, je velmi křehký, má charakter mýdla, neboť krystalická mřížka má slabé Van der Walsovy síly.

Termín talek zahrnuje široký rozsah přírodních produktů. Mezi nečistoty, které běžně obsahuje, patří magnezit, vápník, křemičitany a chloridy. Mnoho různých modifikací talku, hlavně čistý a lamelární talek, se užívá v plastikářském průmyslu.



Struktura talku je nejčastěji lamelární, ale jeho poměr se velice často mění. Velikost tohoto poměru je nejdůležitější vlastnost pro jeho použití v plastikářství. Talk je funkční komponent v papíru, barvách, plastech, pryžích, keramice, hnojivu, krmivu pro zvířata, kosmetice, ve farmaceutikách a dalších.

V plastech se používá k vyztužení termoplastů jako je polypropylen, ale taky polyetylen a polyamid.

Hlavní aplikace jsou v automobilových součástech, domácích spotřebičích a konstrukčních plastech /13/,14/.

Mezi odrůdy talku patří:

Tuček - je celistvou odrůdou talku s tvrdostí 1,5

Krupník – název pro hrnčířský kámen o složení mastku promíchaného s uhličitany a chloridy

Steatit – od pradávna používaná odrůda. Její uplatnění se řadí do oblasti výroby ozdobných předmětů.

2.6.4 MOŽNÉ VÝHODY TALKU V POLYPROPYLENU

Použití talku v polypropylenu má vzhledem ke změně struktury plastu za následek změnu výsledných vlastností výrobku. Uplatnění nachází v PP, HDPE, LDPE, PVC, ABS a toto uplatnění neustále stoupá.

Přehled užitečných vlastností:

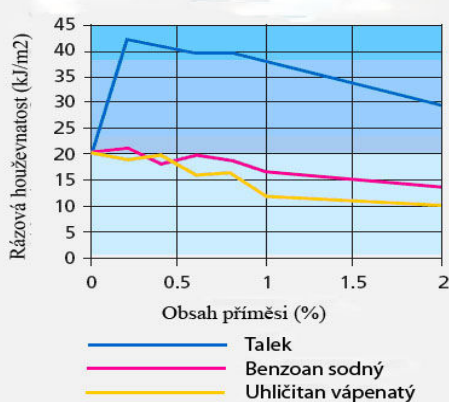
- lupínkovitost
- výborná schopnost míšení s pryskyřičnými materiály
- odolnost vůči teplotám
- výborná izolační schopnost
- chemická odolnost

Ve spojení s polypropylenem je talku využíváno jako aditiva, zlepšující mechanické vlastnosti a odolnost vůči mechanickým vlivům, jako je kupříkladu otěru vzdornost. V automobilovém průmyslu nachází své uplatnění při výrobě přístrojových desek (palubních desek), různých interiérových částí, aj. Z ostatních průmyslových odvětví stojí zmínit počítačový průmysl nebo jako exteriérový

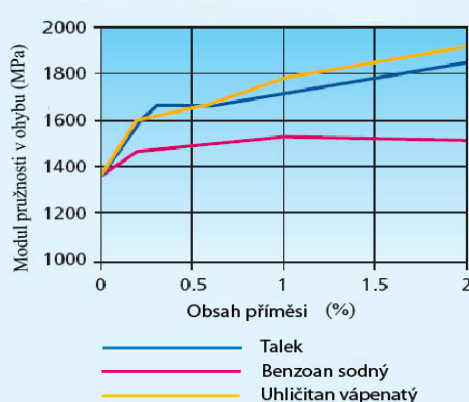


doplněk (zahradní nábytek atd.). Talek se používá všude tam, kde je požadováno vyšší kvality materiálu. Velice důležitou vlastností talku je jeho odolnost vůči UV záření /13/.

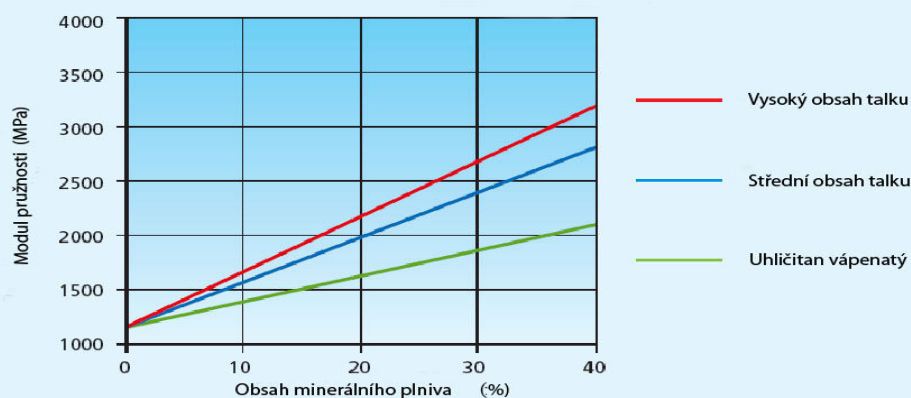
Hlavním důvodem použití talku v plastech je snižování smrštění plastu a tím zajištění odpovídající rozměrové a tvarové přesnosti výstřiku. Protože se však jedná o nukleační činidlo, dochází ke změně morfologie plastu, tj. k zvýšení obsahu krystalického podílu a k tvorbě krystalitů menších rozměrů. Tato morfologická změna má za následek změnu vlastností výstřiku, tedy i jeho pevnost, houževnatost (viz obr.2.21), modul pružnosti v ohybu (viz obr.2.22) i v tahu (viz obr.2.23), apod.



Obr. 2.21 – Rázová houževnatost Charpy PP v závislosti na plnivu /14/

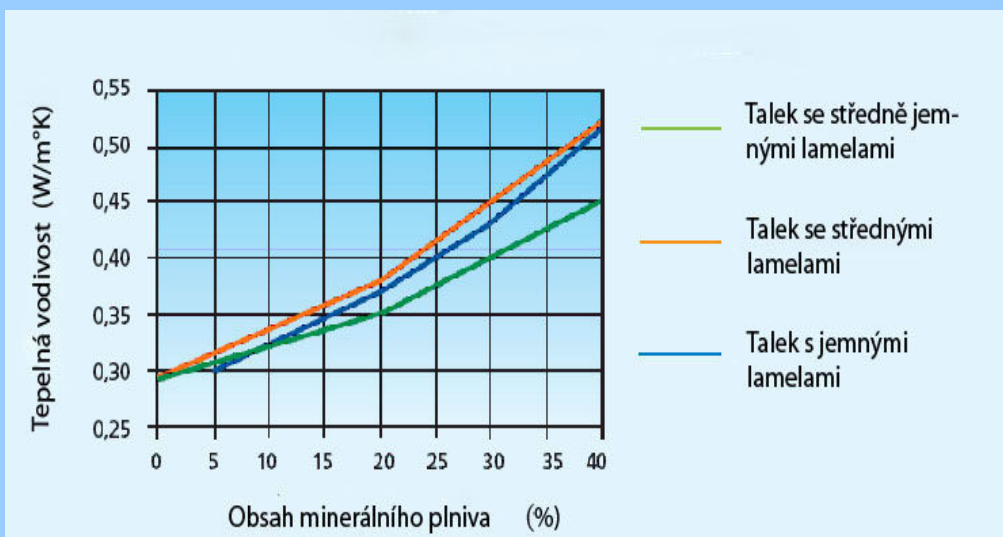


Obr.2.22 – Modul pružnosti v ohybu /14/





Vzhledem k vysoké **tepelné vodivosti** talku (při porovnání s polymery) je vedení tepla během zpracování plastu mnohem rychlejší (viz obr. 2.24). Rovněž odvod tepla z taveniny plastu během chlazení je intenzivnější. Přidáním talku do plastu se zvyšuje jeho tepelná vodivost, což vede k rychlejší zpracovatelnosti. Zkušenosti s plněnými polymery jsou takové, že vodivost závisí pouze na obsahu plniva /14/.



Obr.2.24 - Tepelná vodivost PP s příměsí talkem /14/

Krystalizace polypropylenu s talkem je urychlena malým množstvím jemného talku, který působí jako nukleační činidlo. Krystalizace začíná na vyšší teplotě v porovnání s neplněným polypropylenem. Pevnost roste, ale je to hlavně díky rostoucí krystalizaci polypropylenu nikoli mechanickým vlastnostem samotného talku.



2.7 POPIS Vlivu TALKU NA UŽITNÉ VLASTNOSTI VÝSTŘIKŮ

Užitné vlastnosti výstřiků z PP plněného talkem souvisí výhradně na procentuálním zastoupení talku v objemu výstřiku, jak je popsáno v následujících kapitolách /14/.

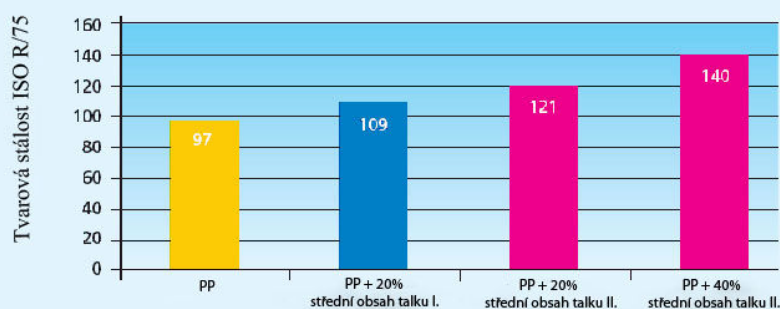
2.7.1 RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST

Přidáním talku jako minerálního plniva k matici plastu nebude obecně zlepšována jeho rázová houževnatost. Jsou však výjimky, například užití jemného talku v polypropylenu pro nárazníky aut.

2.7.2 ODOLNOST VYSOKÝM TEPLOTÁM

U plněných plastů v mnoha aplikacích, např. v plastových komponentech pro automobily nebo v obalech je požadována tuhost i při vyšších teplotách.

Závislost HDT (tvarová stálost dle ISO R75) může být používána k demonstraci vlivu talku na tuhost plastových komponentů při rostoucí teplotě. Lamelární talek s vysokým stupněm plnění zlepšuje výchylku teploty polyolefinů k většímu rozsahu než talek s nižším plněním (viz obr.2.25).

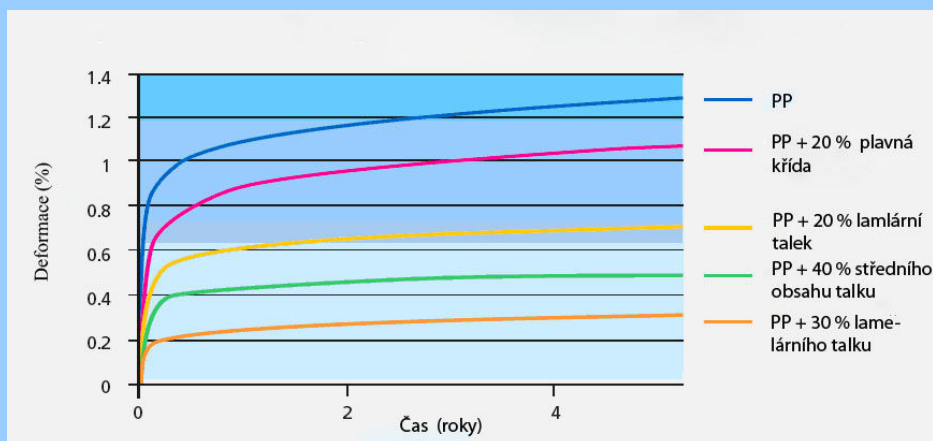


Obr. 2.25 - Dopad napětí a tuhosti v dílech z PP plněného talkem /14/

2.7.3 ODOLNOST PROTI KRÍPU (CREEPU)

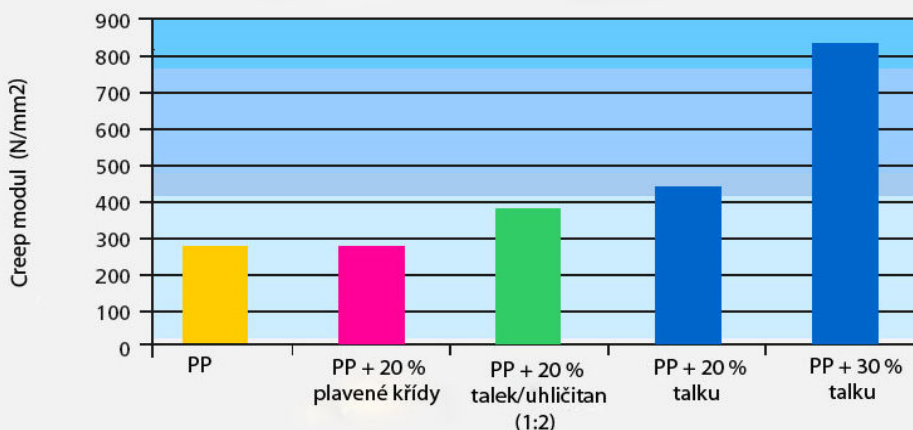
U plněných plastů je dosahováno vyšší odolnosti vůči krípuvému chování. Krípuvé odolnosti nejlépe vyhovuje talek s jemně destičkovou strukturou. Informace získané z krátkodobých testů PP mohou být použity jako předpoklad vlastností dosažených po delším časovém působení za konstantní teploty.

Smluvní krátkodobý modul je převeden vzorcem na krípuvý modul. Krípuvý modul, který je důležitý pro předpověď chování po dlouhodobém zatížení, může být vypočítán z krípuvých testů (viz obr. 2.26 a 2.27). Obrázek 2.26 ukazuje chování po zatížení po dobu 5ti let.



Obr. 2.26 – Dlouhodobý Creep PP a PP s obsahem talku a plavené křídý /14/

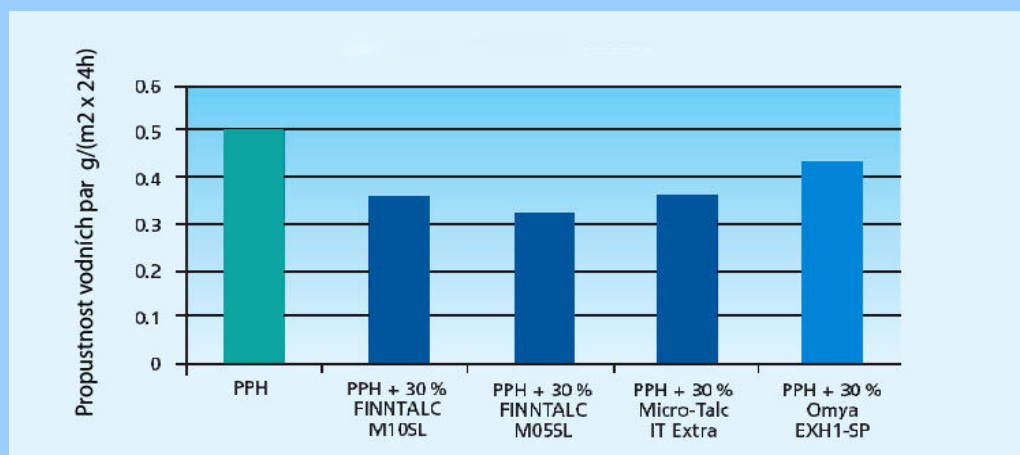
Typickým produktem, kde je nutno uvažovat kríp, jsou plastová potrubí, určená pro pokládání do země (např. pro odpadní vodu).



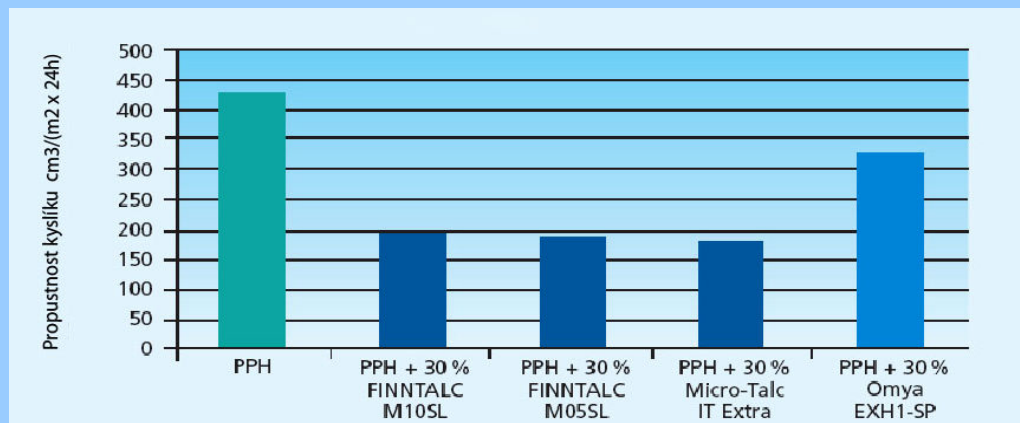
Obr. 2.27 – Creep modul PP a PP komponentů /14/

2.7.4 PROPUSTNOST VODNÍCH PAR A KYSLÍKU

Důležitý faktor při balení potravin je prostupnost vodních par a kyslíku. Mají přímý dopad na skladovatelnost potravin obsažených uvnitř. Talek v určité míře redukuje přenos vodních par (viz obr. 2.28) a kyslíku (viz obr. 2.29). Částice lamelárního talku jsou většinou orientovány ve vrstvách a budou omezovat prostupnost obalu pro vodní páry a kyslík.



Obr. 2.28 - Přenosu vodních par /14/



Obr. 2.29 – Přenosu kyslíku /14/



2.7.5 ODOLNOST PROTI CHEMIKÁLIÍM

Talek je chemicky inertní a vodoodpudivý materiál. To je velice důležité pro přímý kontakt potravin s obaly plněnými minerály. Testy propustnosti byly udělány s různými simulanty (destilovaná voda, 3 % kyselina octová, 10 % ethanol a upravený olivový olej). Právě s 3 % kyselinou octovou byly všechny prostupnostní požadavky splněny ($< 10\text{mg/dm}^2$ vzorek) /14/.

2.8 NOVÉ TRENDY PRO POLYMERY PLNĚNÉ TALKEM

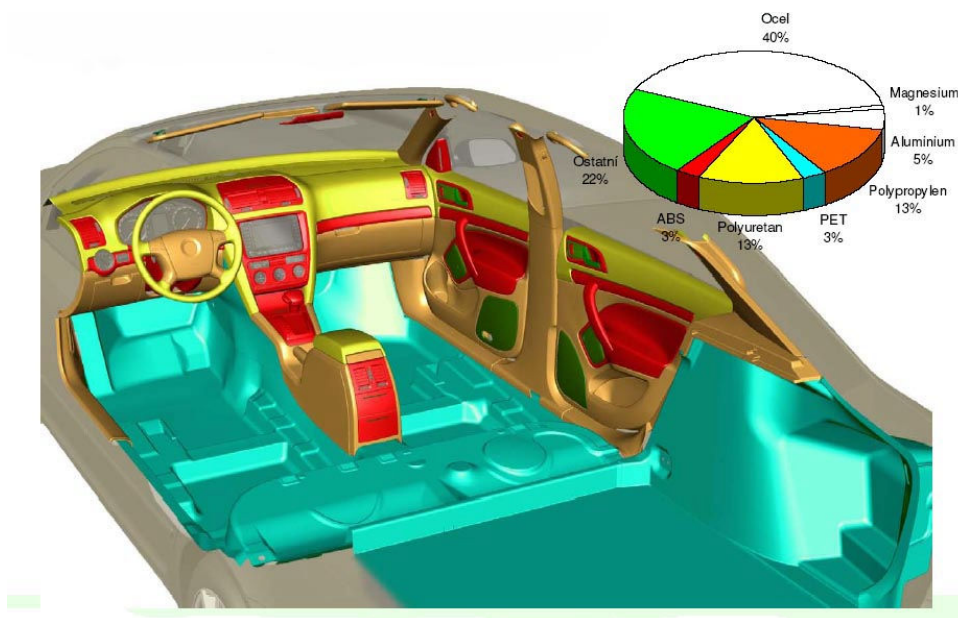
Automobilový trh a trh s domácími spotřebiči patří mezi největší odběratele pro výrobky plněné talkem i přes neustálý vývoj nových materiálů a technologií. Jejich růst závisí do určité míry na poptávce. Koneční zákazníci neustále hledají alternativní materiály jako PVC a PS. Zájem projevují i trhy s profily, trubkami a balení v potravinářství.

Nahrazení PVC pro plastové trubky, zde je nutné kompenzovat nižší odvodovou tuhost u polyolefinů, ale také redukovat nevhodné dlouhotrvající vlastnosti neplněných PP a PE jako jejich tendenci ke krípu (deformace dlouhodobým zatížením). Talek je upřednostňované aditivum v těchto aplikacích v důsledku zajištění vysoké tuhosti, která dovoluje redukcí tloušťky stěny na minimální hodnoty. Dopad odolnosti při teplotách pod nulou je nesporný.

Talkem plněný PP také nachází nový odbyt v potravinářském průmyslu a v dalších obalech. Požadavky na propustnost dle normy ČSN EN 1186-5 a další aspekty, kterými jsou: vyšší tuhost a propustnost, např. redukce propustnosti kyslíku či vodních par jenž jsou zmiňovány. Talek zlepšuje výstup ve vytlačování a zkracuje čas cyklu při formování teplem na základě krystalizace a lepší vodivosti tepla.

Tyto výhody dělají ze součástí plněných talkem velice konkurence schopné materiály pro obaly v potravinářství. Díky tomuto je zde značný potenciál v těchto aplikacích /15/.

V automobilovém průmyslu nachází polypropylen plněný talkem v aplikacích jako jsou: protihlukové ochrany, izolační materiály, výplňové komponenty, vnitřní stropní panely, zadní odkládací plata, kufrové výplně, koberečky, bateriové separátory, filtry apod. (viz obr.2.30).



Obr. 2.30 – Interiér vozu Škoda Octavia – materiálový rozpad /19/

Pro uváděné aplikace mohou být polypropylenová vlákna použita jako nosný nebo povrchový materiál. Při užití stejných druhů materiálů je zaručená snadná zpracovatelnost. Použité materiály mohou sloužit jako surovina pro nový nosný materiál. Díky tomuto způsobu se uzavírá recyklační cyklus a splňuje se požadavek na eliminování množství odpadů při likvidaci starých automobilů /15/,/19/.



3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentálního měření bylo zjistit změnu vlastností a morfologie výstřiků z polypropylenů neplněného a plněného talkem v závislosti na teplotě temperačního media. Dalším určujícím faktorem byla tloušťka zkušebních těles.

3.1 MATERIÁL A PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

3.1.1 POUŽITÝ MATERIÁL

Pro experimentální měření bylo použito dvou druhů polypropylenů určených pro výrobu zkušebních vzorků vstřikováním. Prvním z nich byl polypropylen s označením *PP ExxonMobil™ 1044 L1*. Jde o homopolymer s dobrými tokovými vlastnostmi a s příměsí antistatického prvku.

Druhým vzorkem byl také polypropylen, ale s označením *PP Exxtral HMU 234*. Jedná se o homopolymer s příměsí minerálního plniva – talku ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$). Obsah talku zde činil 20 %. Tento druh materiálu se vyznačuje dobrými tokovými vlastnostmi a vysokou tuhostí. Materiál má poměrně vysokou hodnotu pevnosti a velice dobře odolává teplotnímu stárnutí. Díky těmto vlastnostem nalézá uplatnění při výrobě tepelných a klimatizačních jednotek. Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti těchto materiálů jsou uvedeny v tab. 3.1 a tab. 3.2.

Tab. 3.1 – Materiálové hodnoty *PP ExxonMobil™ 1044 L1 /16/*

Vlastnosti	Jednotka	Podmínky zkoušení	Typická hodnota	Označení zkušební metody
Celková tažnost	%	50 mm/min	8	ISO 527-2
Hustota	g/cm ³	lisované těleso	0,91	ISO 1183
Index toku taveniny	g/10 min	230°C / 2,16 kg	17	ISO 1133
Napětí na mezi kluzu	MPa	50 mm/min	35	ISO 527-2
Ohybový modul	MPa	1 mm/min	1550	ISO 527-2
Rázová houževnatost CHARPY	kJ/m ²	23°C	110	ISO 179/1eU
Vrubová houževnatost CHARPY	kJ/m ²	23°C	2,5	ISO 179/1eA
Vrubová houževnatost IZOD	kJ/m ²	23°C	2,5	ISO 180/1A
Teplota měknutí dle VICATA	°C	VST/A60 (10N)	154	ISO 306

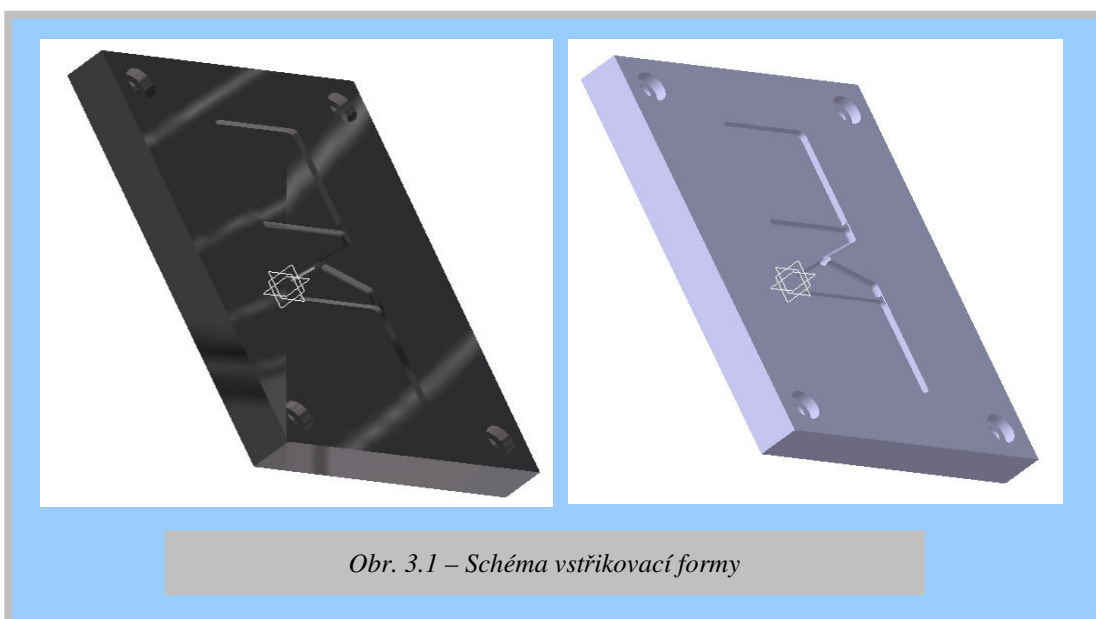


Tab. 3.2 – Materiálové hodnoty PP Exxtral HMU 234 /16/

Vlastnosti	Jednotka	Podmínky zkoušení	Typická hodnota	Označení zkušební metody
Hustota	g/cm ³	23°C	1,06	ISO 1183
Index toku taveniny	g/10 min	230°C / 2,16 kg	10	ISO 1133
Prodloužení na mezi kluzu	%	50 mm/min	4	ISO 527
Prodloužení při přetržení	%	50 mm/min	18	ISO 527
Ohybový modul	MPa	1 mm/min	3350	ISO 527-2
Vrubová houževnatost CHARPY	kJ/m ²	23°C	2,7C	ISO 179
Tvarová stálost	°C	HDT A	68	ISO 75

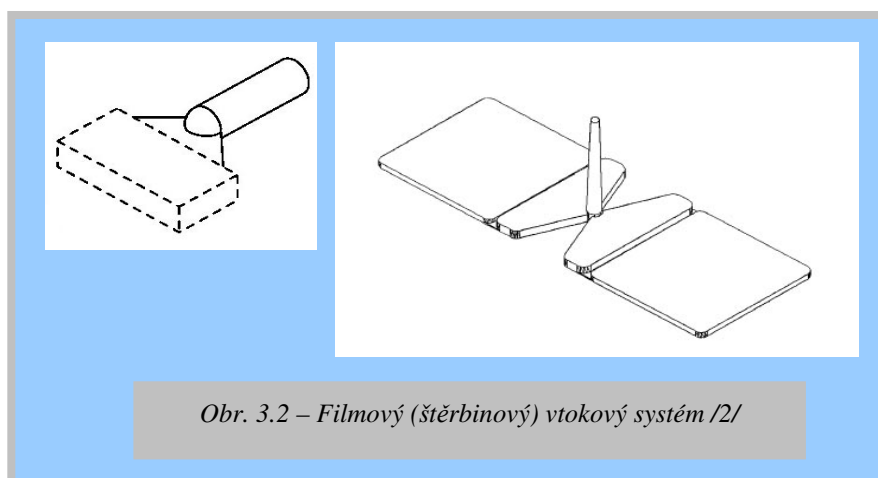
3.1.2 POUŽITÁ VSTŘIKOVACÍ FORMA

K výrobě zkušebních těles bylo použito univerzální vstřikovací formy s výměnou kotevní deskou tvárnice pro výrobu výstřiků s různou tloušťkou. Jedná se o dvounásobnou vstřikovací formu (viz obr. 3.1) s jednou dělicí rovinou pro výrobu výstřiků ve tvaru desky o rozměrech 50 x 50 mm, s tloušťkou 1 mm, 2 mm a 3 mm. Plnění obou tvarových dutin bylo zajištěno kuželovým vtokem a filmovým (štěrbinovým) ústí vtoku (viz obr. 3.2). Vyhazování výstřiku bylo zajištěno jedním vyhazovacím kolíkem, umístěným proti vtoku, ovládaným koncovým dorazem



Obr. 3.1 – Schéma vstřikovací formy

stroje. Temperace formy byla zajištěna vodou cirkulující v temperačních kanálech formy, v oblasti tvarových částí formy, tj. tvárníku a tvárnice.



3.1.3 POUŽITÝ VSTŘIKOVACÍ STROJ A TEMPERAČNÍ AGREGÁT

Pro experiment byl použit vstřikovací stroj ENGEL ES 25/50. Jedná se o stroj sloupkové konstrukce s poloautomatickým provozem. Použitý temperační agregát TA3 zajišťoval stálost temperačního media na požadovaných hodnotách.

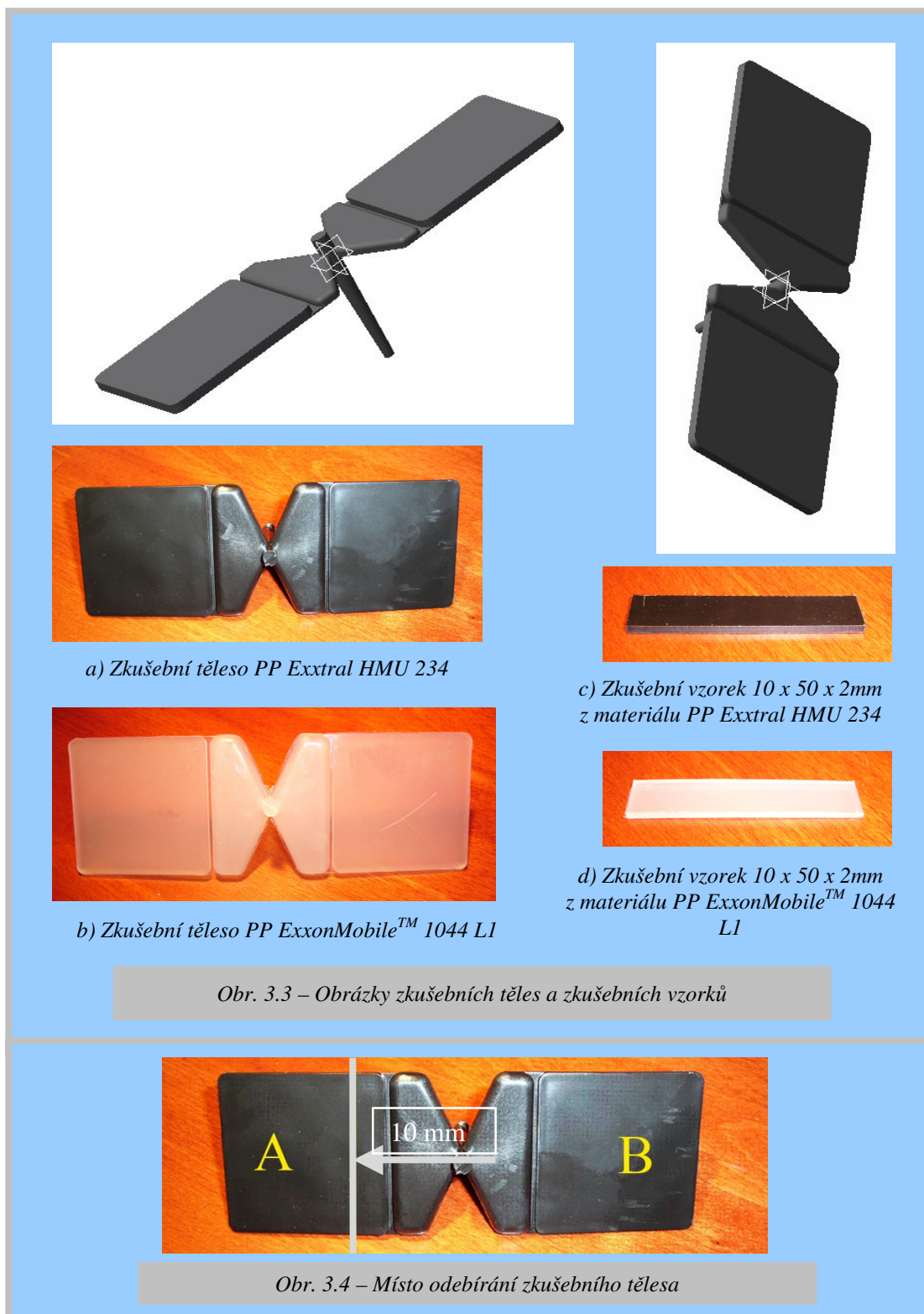
3.2 PŘÍPRAVA VZORKŮ PRO ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

Odebírání vzorků o rozměrech 50 mm x 10 mm s tloušťkou 1 mm až 3 mm (viz obr.3.3) pro hodnocení mechanických vlastností výstřiků dle mezinárodních standardů

ČSN EN ISO 527, ČSN EN ISO 178 a ČSN EN ISO 179 (s dohodnutými odchylkami) probíhalo v předem označené poloze výstřiku, ve vzdálenosti 10 mm od místa ústí vtoku (viz obr. 3.4), s ohledem na podmínky tečení a chlazení taveniny vždy ze stejné dutiny formy (označené A). Odběr vzorků ze zkušebních těles pro hodnocení mechanických vlastností probíhal na strojních nůžkách. Přesnost rozměru byla zajištěna dorazy a to s přesností na setiny milimetru. Místo odběru bylo následně označeno tak, aby byla zajištěna pozdější správná orientace vzorku při následných zkouškách, tedy aby v případě ohybové zkoušky byl vzorek namáhán



rovnoběžně se směrem toku taveniny a v případě rázové zkoušky Charpy byl vrub zhotovován na straně blíže k ústí vtoku taveniny.



Experiment probíhal v laboratořích lisovny plastů v areálu TU Liberec. (Vstřikování probíhalo na vstřikovacím lisu ENGEL ES 25/50 (viz kapitola 3.1.3).) Nejprve byl vstřikován materiál PP ExxonMobil™ 1044 L1 za použití ocelového



tvárníku a formy o tloušťce výrobku 1mm. Forma byla temperována na 20 °C za použití temperačního media, kterým byla voda. Po vystříknutí zkušebních těles následovala změna teploty temperačního media na 40 °C resp. 60 °C a 80 °C. Stejným způsobem bylo postupováno při vstřikování zkušebních těles o tloušťce výstřiku 2mm a 3mm. Celkově bylo pro tento materiál vyrobeno 400 kusů zkušebních těles.

Druhá část vstřikování byla prováděna na materiálu PP Exxtral HMU 234. Nastavení stroje a technologických parametrů (viz tab. 3.3) bylo identické jako u předchozího materiálu. Počet těles pro druhý materiál byl rovněž 400 kusů.

Tab. 3.3 – Technologické parametry vstřikování

teplota taveniny	tryska	120 °C
	1.zóna	120 °C
	2.zóna	140 °C
	3.zóna	160 °C
doba plastikace		14 s
doba vstřikování + dotlaku		20 s
doba chlazení		15 s
ostatní strojní časy		4 s
doba manipulace		7 s
celková doba cyklu		60 s
dotlak		5 MPa
elektrický proud na trysce		0,5 A

3.4 ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

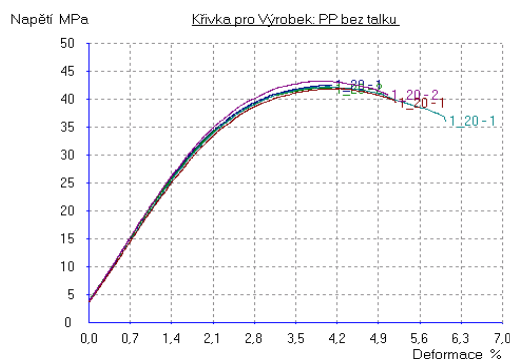
Ohybové vlastnosti na zkušebních tělesech, kondicionovaných při standardním prostředí 23/50 dle ČSN ISO 291, byly stanoveny v souladu s mezinárodním standardem ČSN EN ISO 178, s rychlostí zkoušky 2 mm/min a s definovanými odchylkami: délka (50±1)mm, šířka (10±1)mm, a tloušťky odpovídající tloušťce výstřiku (1÷3mm). K měření bylo použito zařízení HOUNSFIELD H10KT s měřicí hlavou v rozsahu 500 N. K tomuto zařízení byl připojen PC se softwarem QMAT pro záznam měřených dat. Naměřené hodnoty ohybových vlastností (napětí na mezi pevnosti v ohybu a modulu pružnosti v ohybu) jsou pro oba materiály PP ExxonMobil™ 1044 L1 a PP Exxtral HMU 234 uvedeny v tab. 3.4 až tab. 3.9. Grafické závislosti napětí na deformaci jsou pro měřené



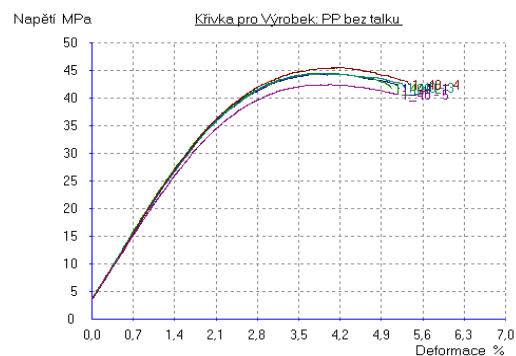
materiály v závislosti na tloušťce výstřiku a teplotě temperace uvedeny na obr. 3.5 až obr. 3.28.

Tab. 3.4 – hodnoty napětí v ohybu a modul pružnosti v ohybu

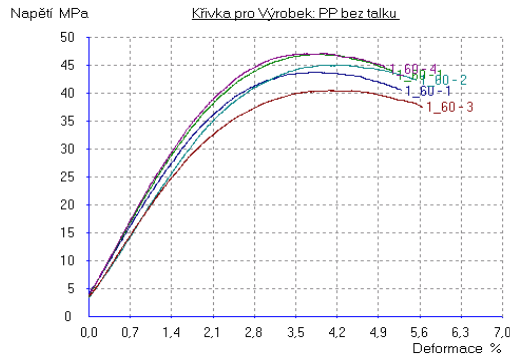
Materiál zkušebních vzorků: PP ExxonMobil™ 1044 L1								
Tloušťka vzorku: 1 mm								
Vzorek č.	Teplota temperace vstřikovací formy							
	20 °C		40 °C		60 °C		80 °C	
	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)
1.	42,59	1510,97	44,37	1725,50	43,77	1636,27	45,64	1902,97
2.	42,07	1509,02	44,49	1628,47	47,01	1879,08	47,00	1940,52
3.	42,24	1536,32	44,42	1625,55	45,03	1490,00	44,10	1843,00
4.	41,92	1504,63	45,49	1657,24	40,48	1498,29	43,63	1769,87
5.	43,24	1555,34	42,47	1645,05	47,09	1845,93	45,92	1777,18
Střední hodnota	42,41	1523,26	44,25	1656,36	44,68	1669,92	45,26	1846,71
Směrodatná odchylka	± 0,47	± 19,50	± 0,98	± 36,43	± 2,44	± 165,94	± 1,23	± 67,41



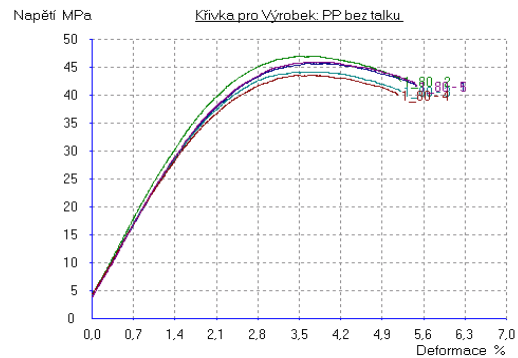
Obr. 3.5 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 1mm, teplota temperace 20°C



Obr. 3.6 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 1mm, teplota temperace 40°C



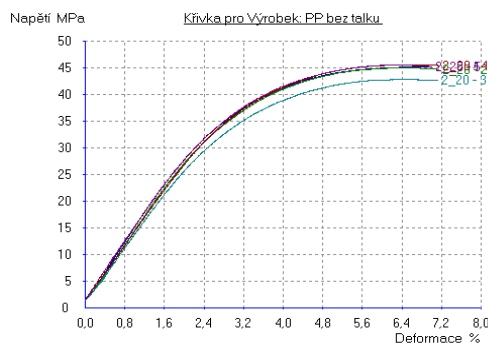
Obr. 3.7 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 1mm, teplota temperace 60°C



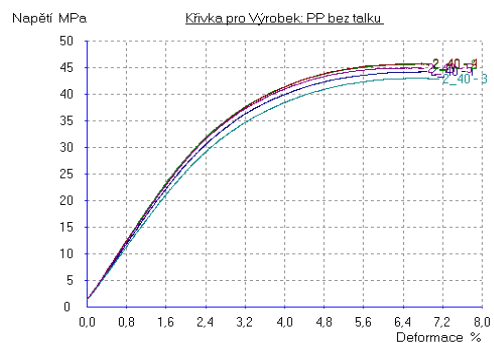
Obr. 3.8 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 1mm, teplota temperace 80°C

Tab. 3.5 – hodnoty napětí v ohybu a modul pružnosti v ohybu

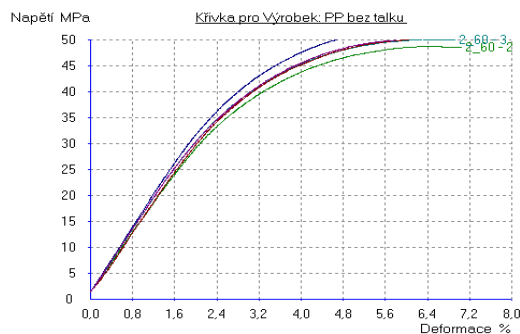
Materiál zkušebních vzorků: PP ExxonMobil™ 1044 L1								
Tloušťka vzorku: 2 mm								
Vzorek č.	Teplota temperace vstřikovací formy							
	20 °C		40 °C		60 °C		80 °C	
	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)
1.	45,25	1267,19	44,25	1277,43	52,26	1548,03	50,49	1489,03
2.	45,00	1215,50	45,65	1295,47	48,68	1411,99	49,81	1512,92
3.	42,82	1069,23	42,96	1199,41	50,04	1441,74	50,58	1524,62
4.	45,62	1282,30	45,82	1297,42	50,36	1240,37	51,15	1590,93
5.	45,54	1406,63	44,96	1271,57	50,32	1519,75	49,92	1454,90
Střední hodnota	44,85	1248,17	44,73	1268,26	50,33	1432,37	50,39	1514,48
Směrodatná odchylka	± 1,04	± 109,29	± 1,04	± 35,85	± 1,14	± 108,06	± 0,49	± 45,05



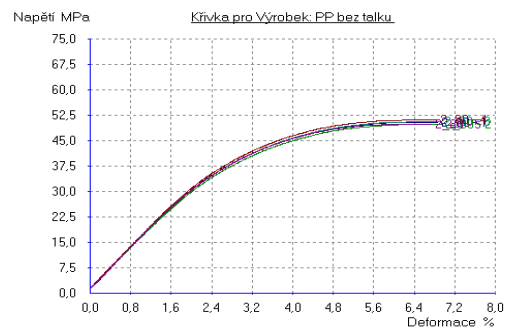
Obr. 3.9 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 2mm, teplota temperace 20°C



Obr. 3.10 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 2mm, teplota temperace 40°C



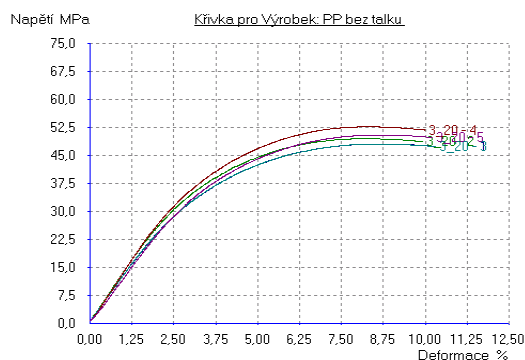
Obr. 3.11 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 2mm, teplota temperace 60°C



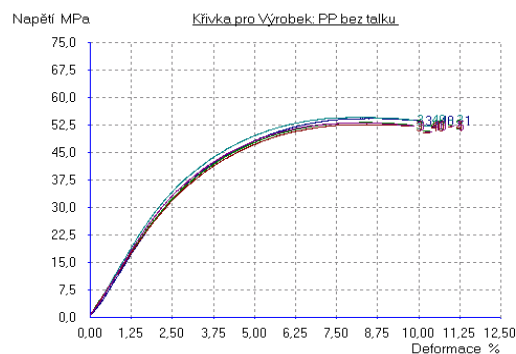
Obr. 3.12 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 2mm, teplota temperace 80°C

Tab. 3.6 – hodnoty napětí v ohybu a modul pružnosti v ohybu

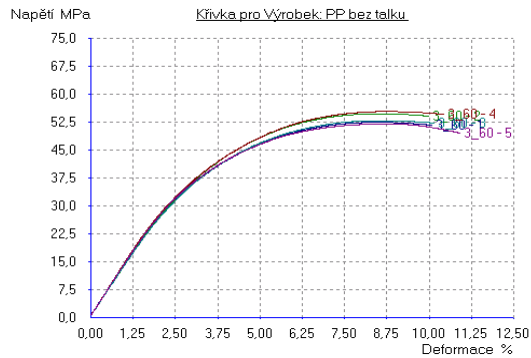
Materiál zkušebních vzorků: PP ExxonMobilTM 1044 L1								
Tloušťka vzorku: 3 mm								
Vzorek č.	Teplota temperace vstřikovací formy							
	20 °C		40 °C		60 °C		80 °C	
	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)
1.	48,07	1212,58	54,29	1053,14	52,42	1386,64	60,21	1654,31
2.	49,49	1251,58	53,18	1405,17	54,72	1365,68	55,13	1302,29
3.	48,03	1213,07	54,54	1370,55	52,90	1314,48	54,82	1328,13
4.	52,67	1118,97	52,66	1365,19	55,35	1378,35	58,43	1272,06
5.	50,48	972,21	53,07	1301,8	52,03	1369,58	55,52	1461,73
Střední hodnota	49,75	1153,68	53,55	1299,17	53,48	1362,94	56,82	1403,71
Směrodatná odchylka	± 1,72	± 100,71	± 0,73	± 127,46	± 1,31	± 25,29	± 2,13	± 141,07



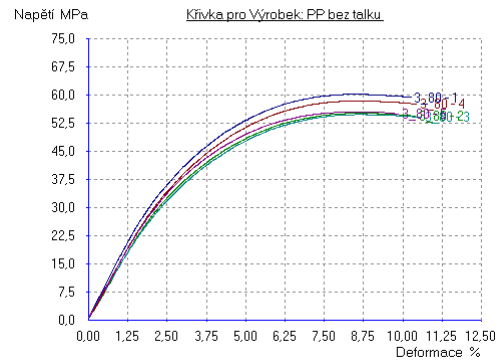
Obr. 3.13 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 3mm, teplota temperace 20°C



Obr. 3.14 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 3mm, teplota temperace 40°C



Obr. 3.15 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 3mm, teplota temperace 60°C



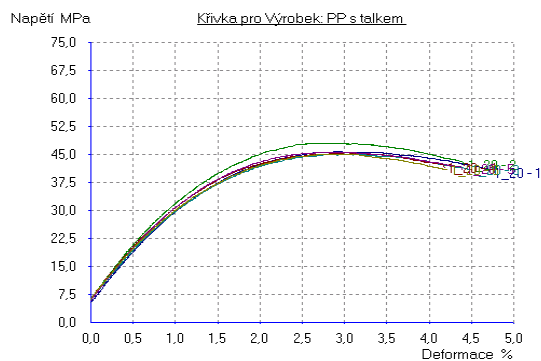
Obr. 3.16 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 3mm, teplota temperace 80°C

Tab. 3.7 – hodnoty napětí v ohybu a modul pružnosti v ohybu

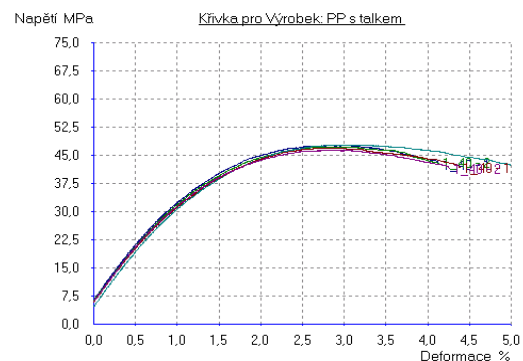
Materiál zkušebních vzorků: **PP Exxtral HMU 234**

Tloušťka vzorku: 1 mm

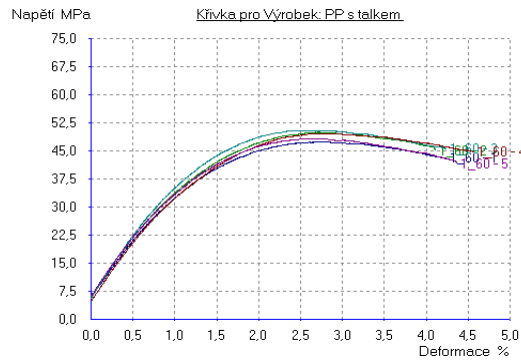
Vzorek č.	Teplota temperace vstřikovací formy							
	20 °C		40 °C		60 °C		80 °C	
	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)
1.	45,68	3047,29	47,73	2949,781	47,35	3208,19	48,60	3271,57
2.	48,05	2779,13	47,25	2988,79	50,04	3373,96	52,02	3461,73
3.	44,99	2925,4	47,67	3047,29	50,46	3510,48	51,29	3330,08
4.	45,40	2954,66	46,86	3037,54	49,54	3325,21	51,25	3325,21
5.	45,66	2832,76	46,24	3047,29	48,31	3354,46	50,52	3393,47
Střední hodnota	45,96	2907,85	47,15	3014,14	49,14	3354,46	50,74	3356,41
Směrodatná odchylka	± 1,08	± 93,97	± 0,55	± 38,81	± 1,15	± 96,93	± 1,17	± 65,32



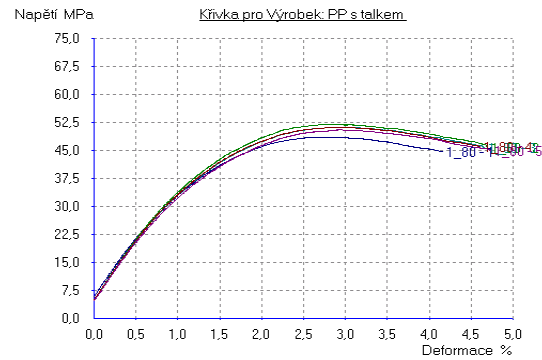
Obr. 3.17 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 1mm, teplota temperace 20°C



Obr. 3.18 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 1mm, teplota temperace 40°C



Obr. 3.19 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 1mm, teplota temperace 60°C



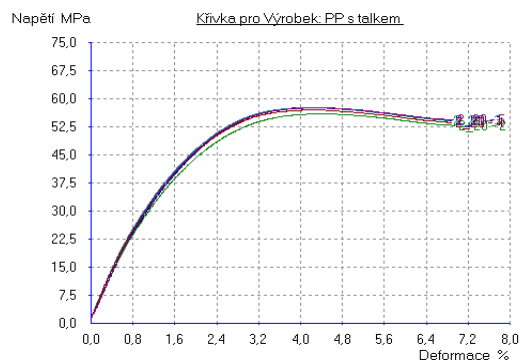
Obr. 3.20 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 1mm, teplota temperace 80°C

Tab. 3.8 – hodnoty napětí v ohybu a modul pružnosti v ohybu

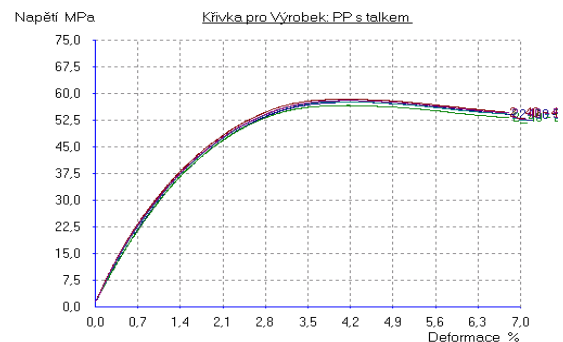
Materiál zkušebních vzorků: **PP Exxtral HMU 234**

Tloušťka vzorku: 2 mm

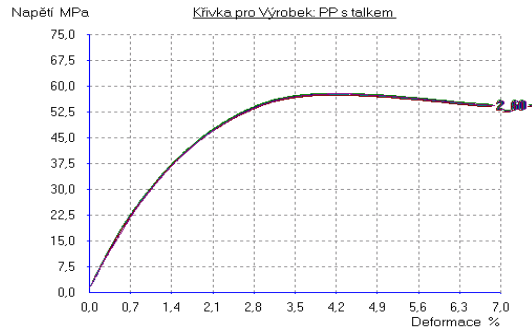
	Teplota temperace vstřikovací formy							
	20 °C		40 °C		60 °C		80 °C	
Vzorek č.	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)
1.	57,68	2956,61	57,53	3085,32	57,80	3148,22	57,82	3428,08
2.	55,98	3107,75	56,68	3032,18	57,99	3326,67	58,96	3374,45
3.	57,57	3338,86	57,71	3323,74	57,51	3317,41	59,79	3555,34
4.	56,99	3286,69	58,44	3514,87	57,38	3257,92	57,61	3313,99
5.	57,56	3067,28	58,10	3530,96	57,75	3104,34	58,43	3171,14
Střední hodnota	57,16	3151,44	57,69	3297,42	57,69	3230,91	58,53	3368,60
Směrodatná odchylka	± 0,64	± 141,68	± 0,60	± 208,74	± 0,22	± 89,71	± 0,79	± 126,82



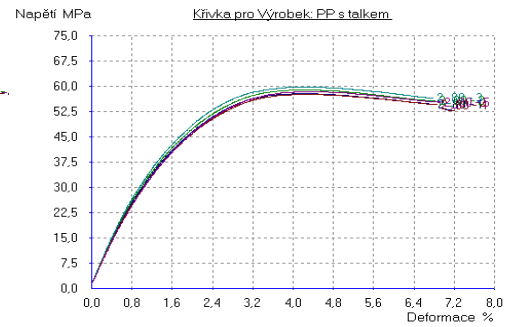
Obr. 3.21 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 2mm, teplota temperace 20°C



Obr. 3.22 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 2mm, teplota temperace 40°C



Obr. 3.23 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 2mm, teplota temperace 60°C



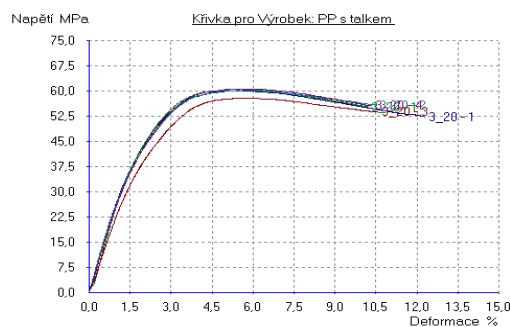
Obr. 3.24 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 2mm, teplota temperace 80°C

Tab. 3.9 – hodnoty napětí v ohybu a modul pružnosti v ohybu

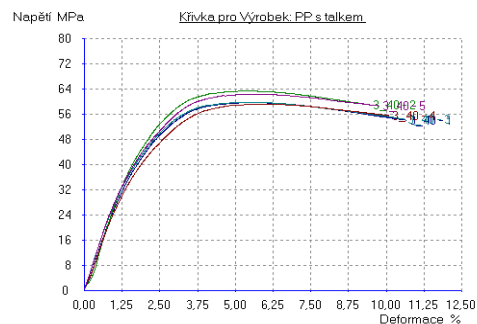
Materiál zkušebních vzorků: **PP Exxtral HMU 234**

Tloušťka vzorku: 3 mm

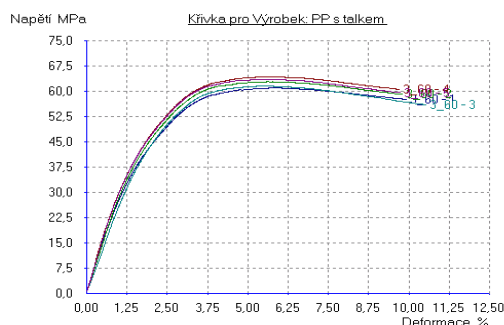
	Teplota temperace vstřikovací formy							
	20 °C		40 °C		60 °C		80 °C	
Vzorek č.	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)	σ_{fM} (MPa)	E_f (MPa)
1.	60,02	2649,93	59,67	2245,73	60,96	2913,21	64,59	3378,84
2.	60,50	1692,83	63,36	1411,02	62,88	3023,40	61,33	2696,25
3.	60,17	2911,75	59,85	2887,86	61,50	2472,45	67,11	3482,20
4.	57,85	1795,71	59,28	2110,68	64,28	3462,21	62,35	2720,62
5.	60,65	2522,18	62,39	2649,93	63,47	3295,47	67,33	3705,51
Střední hodnota	59,84	2314,48	60,91	2261,04	62,62	3033,35	64,54	3196,68
Směrodatná odchylka	± 1,02	± 483,32	± 1,64	± 507,84	± 1,23	± 341,11	± 2,43	± 412,47



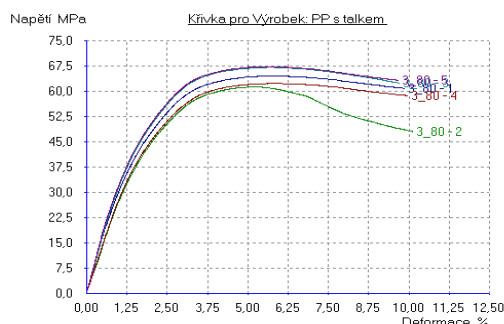
Obr. 3.25 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 3mm, teplota temperace 20°C



Obr. 3.26 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 3mm, teplota temperace 40°C



Obr. 3.27 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 3mm, teplota temperace 60°C



Obr. 3.28 - Závislost napětí a deformace pro vzorek tloušťky 3mm, teplota temperace 80°C

Rázové vlastnosti Charpy na zkušebních tělesech opatřených vrubem ve tvaru A, kondiciovaných při standardním prostředí 23/50 dle ČSN ISO 291, byly stanoveny v souladu s mezinárodním standardem ČSN EN ISO 179 s definovanými odchylkami: délka $(50 \pm 0,2)$ mm, šířka $(10 \pm 0,2)$ mm šířka pod vrubem 8 mm, a tloušťky odpovídající tloušťce výstřiku $(1 \div 3)$ mm). K rázové zkoušce bylo použito rázového kladiva firmy CEAŠT RESIL 5.5, rychlost zkoušení $2,9 \text{ m/s} \pm 10\%$, směr rázu na užší stranu proti vrubu a vzdálenost podpěr 40 mm. Naměřené hodnoty energie spotřebované k přerušení a vrubové houževnatosti jsou uvedeny v tab. 3.10 až tab. 3.15.

Tab. 3.10 – hodnoty korigované energie a rázové houževnatosti

Materiál zkušebních vzorků: PP ExxonMobil™ 1044 L1								
Tloušťka vzorku: 1 mm; typ přeražení - C								
Vzorek č.	Teplota temperace vstřikovací formy							
	20 °C		40 °C		60 °C		80 °C	
	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]
1.	0,015	1,563	0,014	1,446	0,018	1,786	0,013	1,401
2.	0,010	1,008	0,017	1,635	0,017	1,635	0,020	2,451
3.	0,020	1,984	0,015	1,476	0,021	2,152	0,012	1,389
4.	0,020	2,119	0,013	1,332	0,014	1,357	0,018	2,103
5.	0,020	2,101	0,018	1,923	0,016	1,600	0,025	2,921
6.	0,016	1,709	0,017	1,932	0,018	1,744	0,020	2,049
7.	0,015	1,524	0,017	1,771	0,016	1,786	0,017	1,771
8.	0,016	1,695	0,016	1,563	0,012	1,181	0,017	1,914
9.	0,013	1,377	0,021	2,225	0,014	1,423	0,011	1,285
10.	0,014	1,367	0,014	1,411	0,017	1,687	0,016	1,770
Střední hodnota	0,016	1,645	0,016	1,671	0,016	1,635	0,017	1,905
Směrodatná odchylka	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,003	0,336	0,002	0,271	0,002	0,256	0,004	0,483

Tab. 3.11 – hodnoty korigované energie a rázové houževnatosti

Materiál zkušebních vzorků: PP ExxonMobil™ 1044 L1



Tloušťka vzorku: 2 mm; typ přeražení - C								
	Teplota temperace vstřikovací formy							
	20 °C		40 °C		60 °C		80 °C	
Vzorek č.	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]
1.	0,046	5,762	0,047	4,384	0,055	5,682	0,051	5,796
2.	0,035	4,487	0,043	4,011	0,047	4,979	0,043	5,594
3.	0,027	3,430	0,047	5,440	0,047	5,246	0,048	4,800
4.	0,047	5,899	0,049	4,900	0,047	4,738	0,057	6,090
5.	0,037	4,691	0,041	3,559	0,043	4,594	0,047	4,937
6.	0,046	5,867	0,039	4,276	0,035	4,089	0,057	6,038
7.	0,038	4,847	0,050	4,699	0,048	4,918	0,064	6,723
8.	0,038	4,892	0,047	4,663	0,043	4,842	0,047	5,390
9.	0,042	5,346	0,050	5,000	0,040	3,937	0,046	4,915
10.	0,041	4,881	0,048	5,000	0,050	6,128	0,053	5,662
Střední hodnota	0,040	5,010	0,046	4,593	0,046	4,915	0,051	5,594
Směrodatná odchylka	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,006	0,716	0,004	0,521	0,005	0,629	0,006	0,577

Tab. 3.12 – hodnoty korigované energie a rázové houževnatosti

Materiál zkušebních vzorků: PP ExxonMobil™ 1044 L1								
Tloušťka vzorku: 3 mm; typ přeražení - C								
	Teplota temperace vstřikovací formy							
	20 °C		40 °C		60 °C		80 °C	
Vzorek č.	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]
1.	0,059	6,829	0,060	6,579	0,061	6,354	0,067	7,220
2.	0,063	7,797	0,058	6,651	0,069	6,900	0,055	6,903
3.	0,060	6,944	0,056	5,833	0,065	6,944	0,055	5,826
4.	0,055	6,486	0,060	6,522	0,070	7,292	0,060	7,568
5.	0,059	6,198	0,060	6,881	0,055	5,682	0,059	6,358
6.	0,059	6,303	0,059	7,302	0,054	5,870	0,055	6,917
7.	0,062	7,046	0,049	5,326	0,052	5,603	0,065	6,552
8.	0,062	7,046	0,053	5,521	0,061	6,100	0,054	6,027
9.	0,058	6,473	0,056	6,364	0,056	6,863	0,065	7,255
10.	0,063	7,031	0,051	5,313	0,060	7,212	0,061	7,403
Střední hodnota	0,060	6,815	0,056	6,229	0,060	6,482	0,060	6,803
Směrodatná odchylka	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,0024	0,4475	0,0038	0,6553	0,0059	0,6059	0,0046	0,5624

Tab. 3.13 – hodnoty korigované energie a rázové houževnatosti

Materiál zkušebních vzorků: PP Exxtral HMU 234								
Tloušťka vzorku: 1 mm; typ přeražení - C								
	Teplota temperace vstřikovací formy							
	20 °C		40 °C		60 °C		80 °C	
Vzorek č.	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]



1.	0,015	1,925	0,020	2,536	0,013	1,702	0,018	2,308
2.	0,022	2,871	0,019	2,424	0,021	2,628	0,014	1,777
3.	0,017	2,184	0,017	2,155	0,021	2,657	0,022	2,769
4.	0,013	1,679	0,019	2,414	0,019	2,406	0,023	2,884
5.	0,015	1,931	0,019	2,406	0,017	2,155	0,023	2,875
6.	0,020	2,567	0,022	2,781	0,013	1,630	0,018	2,291
7.	0,023	2,958	0,020	2,475	0,020	2,538	0,020	2,543
8.	0,020	2,606	0,018	2,280	0,020	2,530	0,018	2,344
9.	0,021	2,657	0,021	2,641	0,021	2,676	0,020	2,541
10.	0,014	1,821	0,014	1,784	0,019	2,482	0,017	2,173
Střední hodnota	0,018	2,320	0,019	2,389	0,018	2,340	0,019	2,450
Směrodatná odchylka	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,003	0,442	0,002	0,261	0,003	0,366	0,003	0,328

Tab. 3.14 – hodnoty korigované energie a rázové houževnatosti

Materiál zkušebních vzorků: PP Exxtral HMU 234								
Tloušťka vzorku: 2 mm; typ přeražení - C								
Vzorek č.	Teplota temperace vstřikovací formy							
	20 °C		40 °C		60 °C		80 °C	
	W [J]	a _{CA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{CA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{CA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{CA} [kJ/m ²]
1.	0,053	6,658	0,032	3,774	0,040	5,035	0,038	4,902
2.	0,044	5,572	0,036	4,369	0,050	6,250	0,038	4,657
3.	0,036	4,455	0,033	4,146	0,046	5,750	0,044	5,140
4.	0,034	4,368	0,036	4,327	0,054	6,618	0,040	4,808
5.	0,032	4,032	0,026	3,186	0,038	4,657	0,040	5,045
6.	0,048	6,198	0,033	3,966	0,033	4,184	0,037	4,639
7.	0,028	3,514	0,035	4,051	0,037	4,625	0,037	4,653
8.	0,026	3,283	0,030	3,641	0,039	4,924	0,035	4,167
9.	0,015	1,921	0,039	4,556	0,037	4,405	0,040	4,854
10.	0,028	3,431	0,030	3,409	0,037	4,579	0,037	4,205
Střední hodnota	0,034	4,343	0,033	3,942	0,041	5,103	0,039	4,707
Směrodatná odchylka	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,011	1,376	0,004	0,417	0,006	0,781	0,002	0,304



Tab. 3.15 – hodnoty korigované energie a rázové houževnatosti

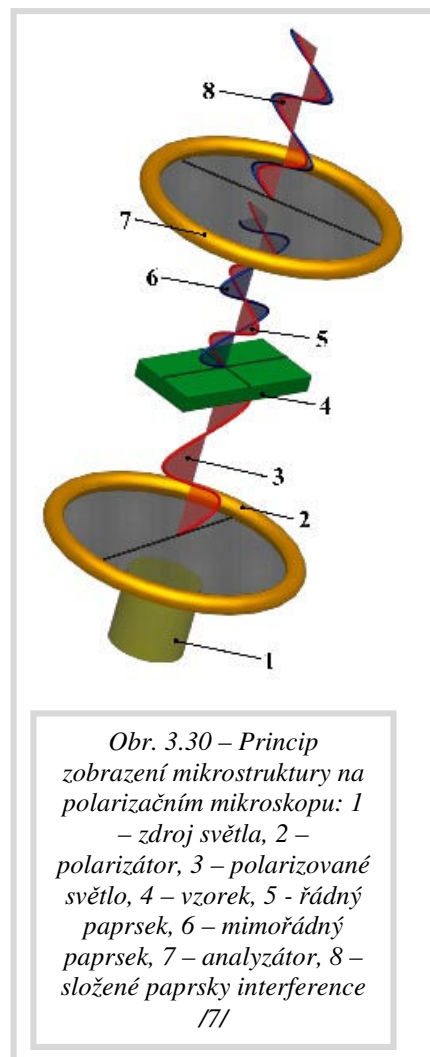
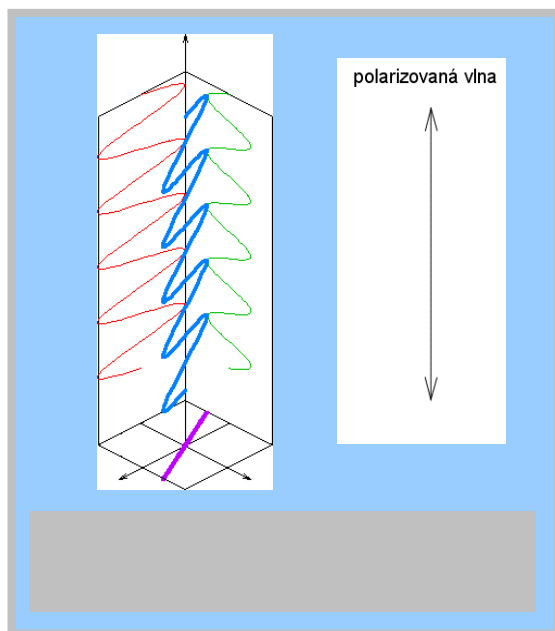
Materiál zkušebních vzorků: PP Exxtral HMU 234								
Tloušťka vzorku: 3 mm; typ přeražení - C								
	Teplota temperace vstřikovací formy							
	20 °C		40 °C		60 °C		80 °C	
Vzorek č.	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]	W [J]	a _{cA} [kJ/m ²]
1.	0,054	6,429	0,055	6,675	0,053	6,559	0,061	7,193
2.	0,058	7,286	0,048	5,769	0,047	5,916	0,052	5,963
3.	0,058	7,279	0,045	5,515	0,049	5,889	0,049	5,889
4.	0,057	7,125	0,056	6,482	0,041	5,172	0,057	6,985
5.	0,050	6,068	0,046	5,324	0,053	6,726	0,062	7,766
6.	0,050	5,952	0,057	6,305	0,059	7,390	0,060	7,076
7.	0,048	6,024	0,044	5,238	0,050	5,841	0,051	6,014
8.	0,052	6,311	0,051	5,958	0,051	6,189	0,048	5,608
9.	0,045	5,569	0,041	4,881	0,045	5,307	0,060	6,198
10.	0,049	5,947	0,055	6,611	0,049	5,568	0,051	5,903
Střední hodnota	0,052	6,399	0,050	5,876	0,050	6,056	0,055	6,460
Směrodatná odchylka	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,004	0,587	0,005	0,598	0,005	0,646	0,005	0,691

3.5 HODNOCENÍ MIKROSTRUKTURY

Hodnocení mikrostruktury vzorku bylo prováděno dle popisu měření dílčích složek průřezu tloušťky zkušebního vzorku, viz teoretická část (kap. 2.1.7). Pro měření byla uvažována jak tloušťka vrstvy povrchové, tak tloušťka vrstvy

přechodové. Místem pro pozorování vnitřní struktury byla přechodová hranice mezi celkovou přechodovou vrstvou a jádrem. Jedná se o místo nejvýraznější změny, tj. místo, kde přestává být patrná sférolitická struktura. K pozorování struktury a pořizování snímků bylo použito polarizačního mikroskopu LEICA. Součástí mikroskopu byla snímací kamera s vyměnitelnými objektivy se zvětšením 4 x, 20 x, 50 x. K mikroskopu byl připojen PC se softwarem LEICA. Díky součinnosti všech zmiňovaných zařízení bylo poté možné pozorovat snímky a jejich vnitřní strukturu. Pozdější rozměry jednotlivých vrstev byly stanoveny pomocí předem daných měřítek.

Metoda polarizační mikroskopie, využívá tzv. lineárně polarizovaného světla, tj. lineárně polarizovaných vln kmitajících v jedné rovině (viz obr. 3.29 a obr. 3.30). Polarizované světlo prochází skrze dvojlomný filtr objektivu a dochází k tzv.



dvojlomu. Polarizovaný paprsek se po průchodu dvojlomným objektivem dále dělí na dva paprsky, jejichž kmitové roviny jsou k sobě navzájem kolmé, avšak fázově posunuté (tj. paprsky se šíří různými rychlostmi). Poté se oba paprsky v analyzátoru mikroskopu složí do stejné roviny a jejich fázový posun se projeví vznikem interferenčních barev /7/, /20/.

Obr. 3.30 – Princip zobrazení mikrostruktury na polarizačním mikroskopu: 1 – zdroj světla, 2 – polarizátor, 3 – polarizované světlo, 4 – vzorek, 5 – řádný paprsek, 6 – mimořádný paprsek, 7 – analyzátor, 8 – složené paprsky interference /7/



Pro experiment světelné mikroskopie bylo použito vzorků (viz obr. 3.3c a obr. 3.3d) o rozměrech 50 mm x 10 mm a tloušťky 1 mm až 3 mm vyrobených pro účely ohybových a rázových zkoušek. Z každé šarže (skupiny teplot a tloušťek materiálu) byl vybrán jeden vzorek a pomocí lupínkové pilky tento v jeho polovině rozdělen na dvě části. Následně byl vzorek upnut do (mikrotomu) LEICA RM 2265 (viz obr. 3.31), umožňující přípravu vzorků pro světelnou mikroskopii. Vzorky byly oddělovány břitem, kolmo ke směru tečení taveniny plastu. Odebíraná tloušťka



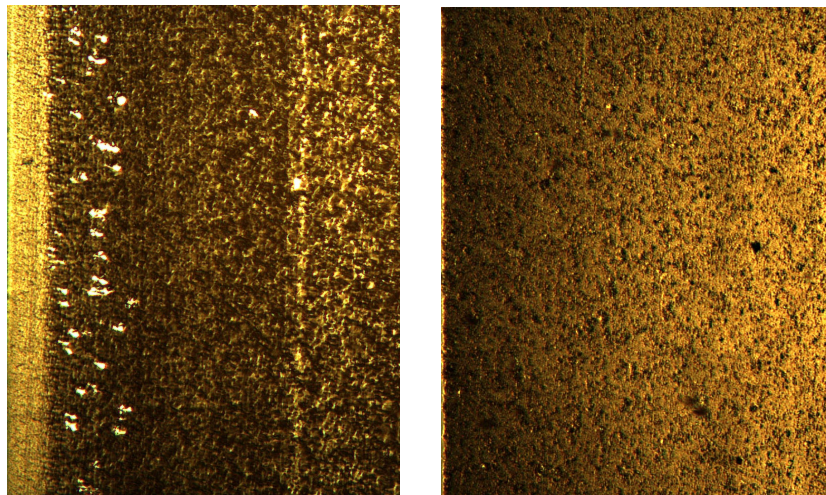
vzorku byla 8 μm . Tolerance rozměrů je v řádech setin milimetru. To závisí na teplotách temperace a teplotě dutiny formy, způsobu a přesnosti připravovaného vzorku. Hodnoty přesnosti vzorku pro experiment hodnocení mikrostruktury (vnitřní struktury) jsou v tomto případě pouze orientačního rázu. Vzorek o tloušťce 8 μm byl následně pomocí pinzety umístěn do kapky imerzního oleje (označení 518C s indexem lomu = 1,518 – DIN 58884) na podložním sklíčku o rozměrech (76mm x 26mm x 1mm – ISO 8037/1) a přeložen krycím sklem (22mm x 22mm). Takto připravené vzorky byly vkládány

do mikroskopu LEICA DM 2500P (viz obr. 3.32) a dále zkoumány. Celkem bylo zkoumáno 24 kusů snímků (viz tab. 3.16). Příklad mikrosnímku polypropylenu neplněného a plněného talkem (viz obr. 3.33). Tloušťka jednotlivých povrchových vrstev pro výstřiky z daného materiálu o tloušťce 1 mm až 3 mm je uvedena v tab. 3.17 /7/.





Obr. 3.33 – Příklad mikrostruktury PP neplněného (teplota temperace 80 °C, tloušťka 2mm) a PP plněného talkem (teplota temperace 80 °C, tloušťka 2mm)





Tab. 3.16 – Rozpis celkového počtu vzorků pro hodnocení mikrostruktury

Materiál	PP ExxonMobilTM 1044 L1	PP Exxtral HMU 234
Tloušťka	1 mm, 2 mm, 3 mm	1 mm, 2 mm, 3 mm
Teplota temperace	20°C, 40°C, 60°C, 80°C	20°C, 40°C, 60°C, 80°C
Počet vzorků	12 kusů vzorků	12 kusů vzorků
Celkem vzorků	24 kusů vzorků	

Tab. 3.17– Tloušťky jednotlivých povrchových vrstev

Označení vstřikovaného materiálu	Tloušťka a vzorku [mm]	Teplota temperačního media [°C]	Tloušťka povrchové vrstvy [μm]
PP ExxonMobilTM 1044 L1	1	20	175
		40	182
		60	170
		80	169
	2	20	140
		40	175
		60	170
		80	139
	3	20	120
		40	110
		60	130
		80	100
PP Exxtral HMU 234	1	20	Nebylo možné naměřit
		40	
		60	
		80	
	2	20	
		40	
		60	
		80	
	3	20	
		40	
		60	
		80	



4 VYHODNOCENÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ

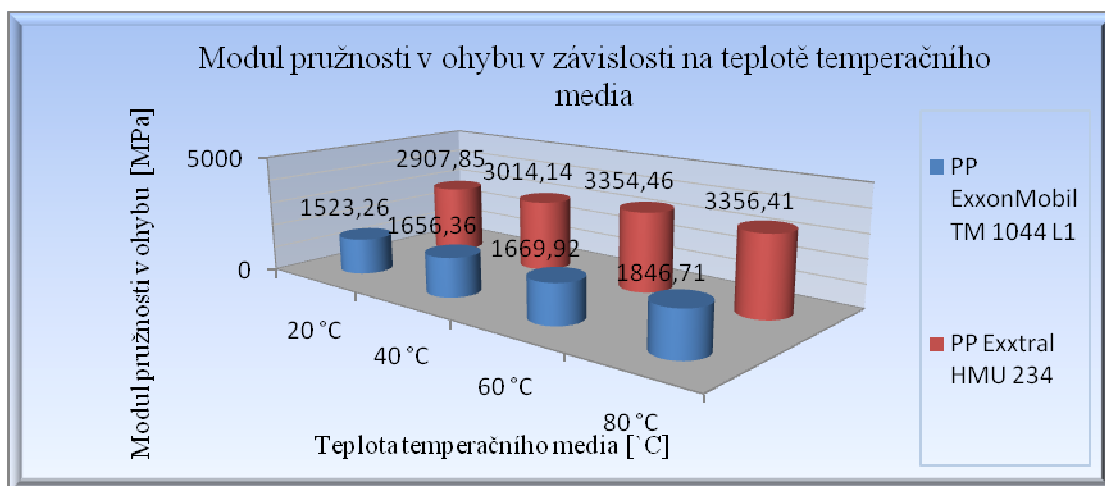
4.1 VYHODNOCENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

Vyhodnocení mechanických vlastností vzorků, jež byly vyrobeny za technologických podmínek, které jsou uvedeny v tab. 3.3 (viz kap. 3.1) probíhalo na základě výsledků získaných ohybovou zkouškou plastů dle ČSN EN ISO 178 a rázovou zkouškou Charpy dle ČSN EN ISO 179.

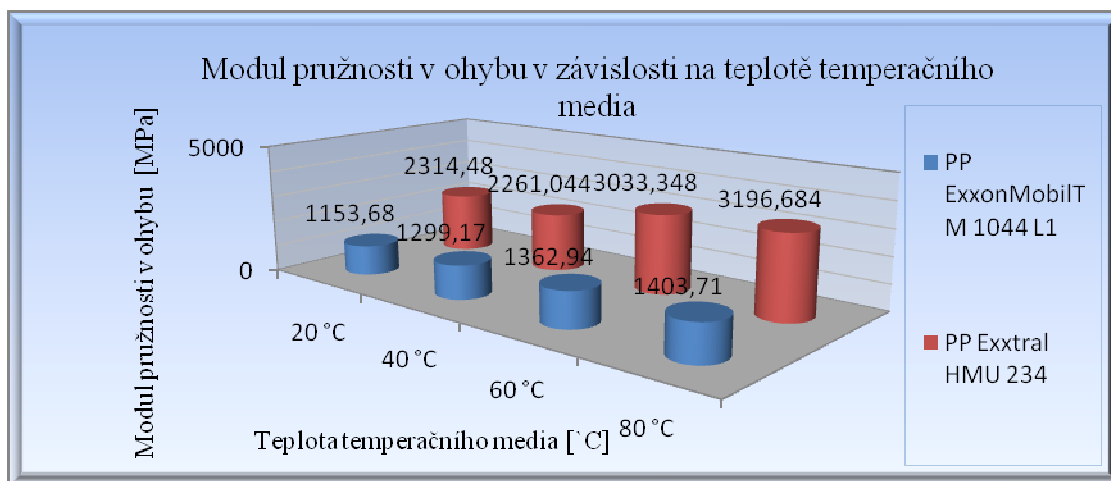
Z výsledků ohybové zkoušky byly získány hodnoty modulu pružnosti v ohybu E_f a napětí v ohybu σ_{fM} . Z naměřených hodnot (tab. 3.4 až tab. 3.9) a grafického znázornění (viz obr. 3.5 až obr. 3.10) je zřejmé, že v některých případech není výrazná závislost na změně teploty temperačního media. Tato skutečnost však byla předpokládána již před započítáním samotného měření, na základě již dříve prováděných studií / 13 /.

Druhou ze zkoušek mechanických vlastností byla zkouška rázové houževnatosti. Technologické parametry pro přípravu těchto vzorků byly shodné s podmínkami uvedenými v tab. 3.3, viz kap. 3.3 pro zkoušku ohybem. Zkoušky rázové houževnatosti byly prováděny metodou Charpy a zkušební vzorky byly opatřeny vrubem typu A mechanickým obráběním podle ISO 2818.

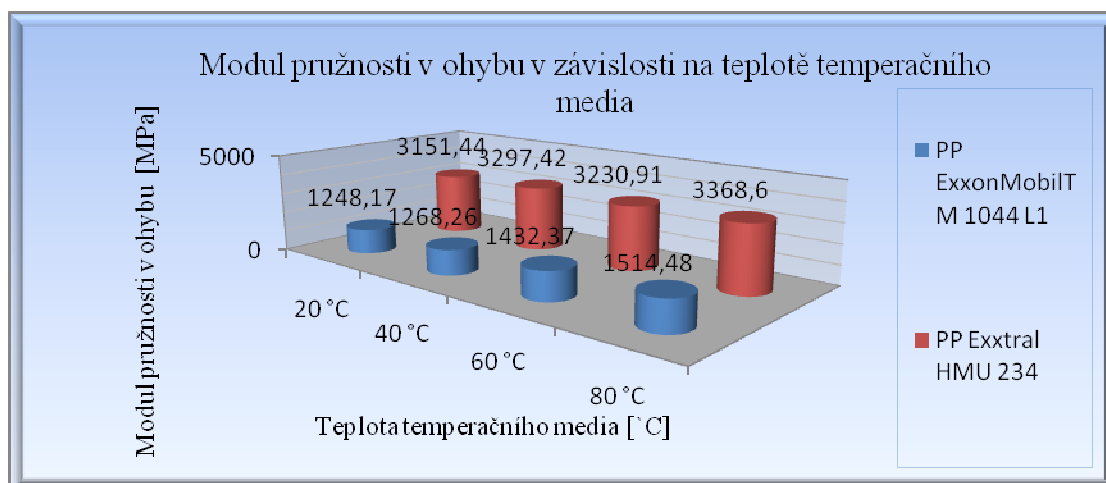
Z obrázků (viz obr. 4.1 až 4.3) je patrné, že u materiálu PP ExxonMobil™ 1044 L1 se s rostoucí teplotou temperace zvyšuje i hodnota modulu pružnosti v ohybu E_f . Tato změna je nejvíce patrná u výstřiků menší tloušťky (1 mm) a v rozmezí teplot temperace 60 °C a 80 °C. Z obrázků (viz obr. 3.4 až obr. 3.9, viz kap. 3.1.6) je zřejmý rozdíl v napětí v ohybu σ_{fM} mezi materiálem PP ExxonMobil™ 1044 L1 a materiálem PP Exxtral HMU 234. Napětí v ohybu se s rostoucí tloušťkou materiálu zvyšuje jak u materiálu neplněného, tak u materiálu plněného 20 % talku.



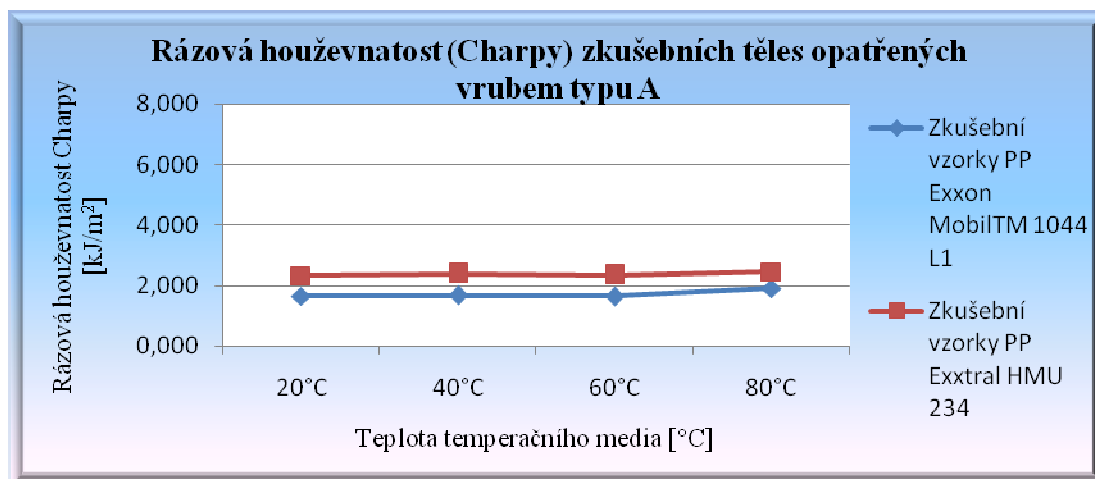
Obr. 4.1 – Grafická závislost modulu pružnosti v ohybu na teplotě temperačního media - tloušťka materiálu 1 mm



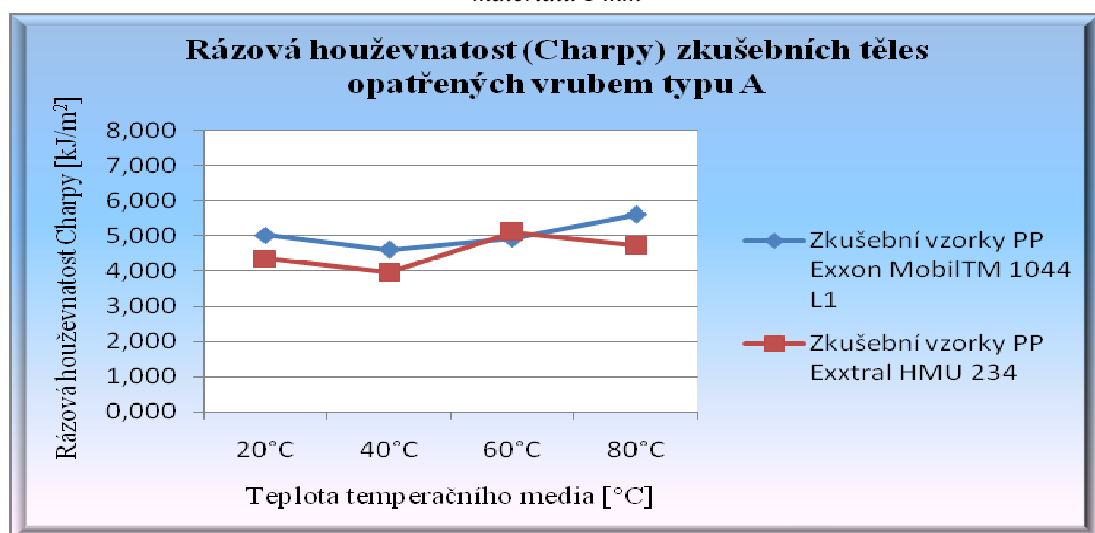
Obr. 4.2 – Grafická závislost modulu pružnosti v ohybu na teplotě temperačního media - tloušťka materiálu 2 mm



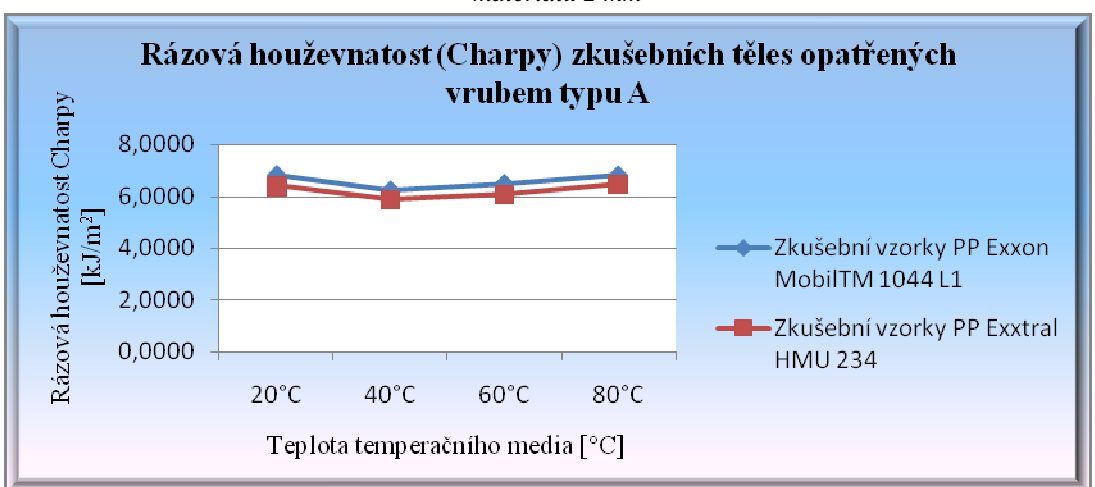
Obr. 4.3 – Grafická závislost modulu pružnosti v ohybu na teplotě temperačního media - tloušťka materiálu 3 mm



Obr. 4.4 – Grafická závislost rázové houževnatosti Charpy závislá na teplotě temperace tloušťce materiálu 1 mm



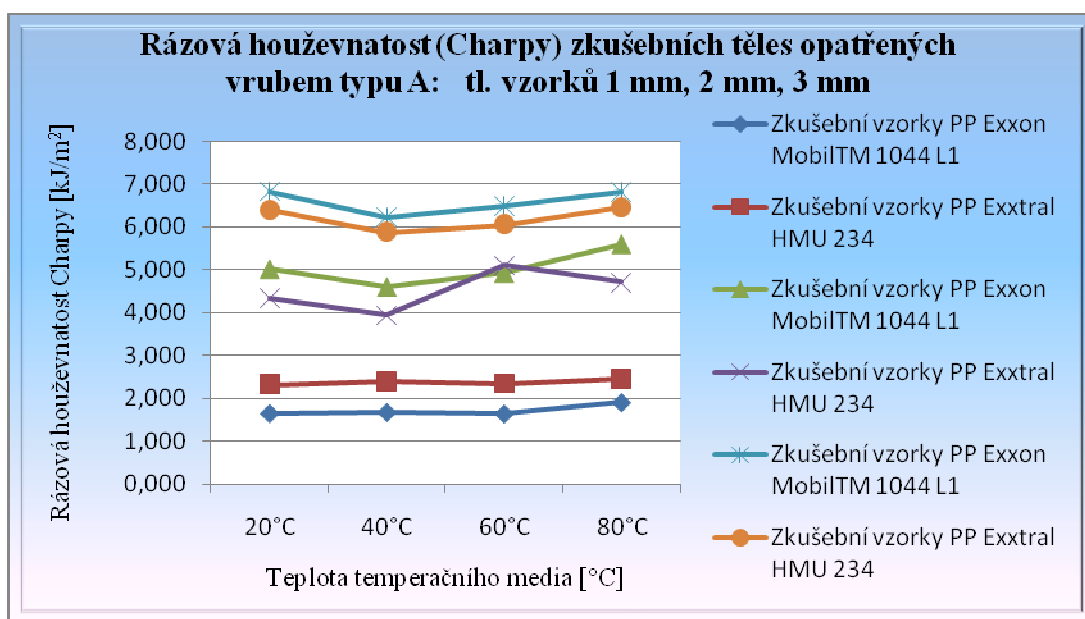
Obr. 4.5 – Grafická závislost rázové houževnatosti Charpy závislá na teplotě temperace tloušťce materiálu 2 mm



Obr. 4.6 – Grafická závislost rázové houževnatosti Charpy závislá na teplotě temperace tloušťce materiálu 3 mm



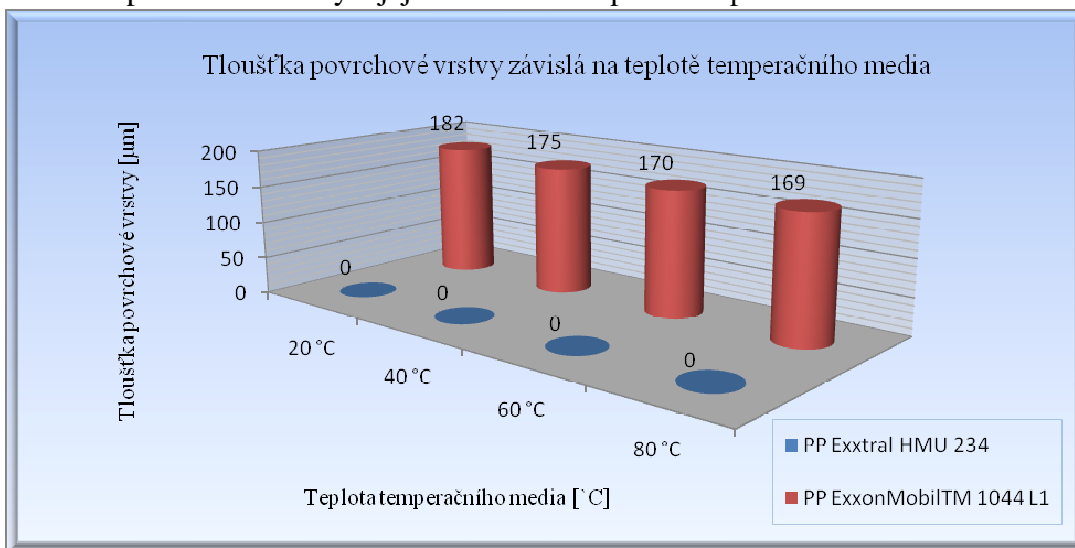
Z obrázků 4.4, 4.5, 4.6 je zřejmé, že s rostoucí tloušťkou vzorku roste rázová houževnatost. Z prováděných experimentů vyplývá, že teplota temperačního media má na rázovou houževnatost jen nepatrný vliv. Hodnoty rázové houževnatosti se pro zvolené teploty temperačního media pohybují v rozmezí 1 kJ/m² a proto nelze vypožorovat závislost rázové houževnatosti ani vlivu plniva (talku) v materiálu na teplotě temperačního media při nastavených podmínkách daného experimentu. Shrnutí závislostí ukazuje obrázek 4.7.



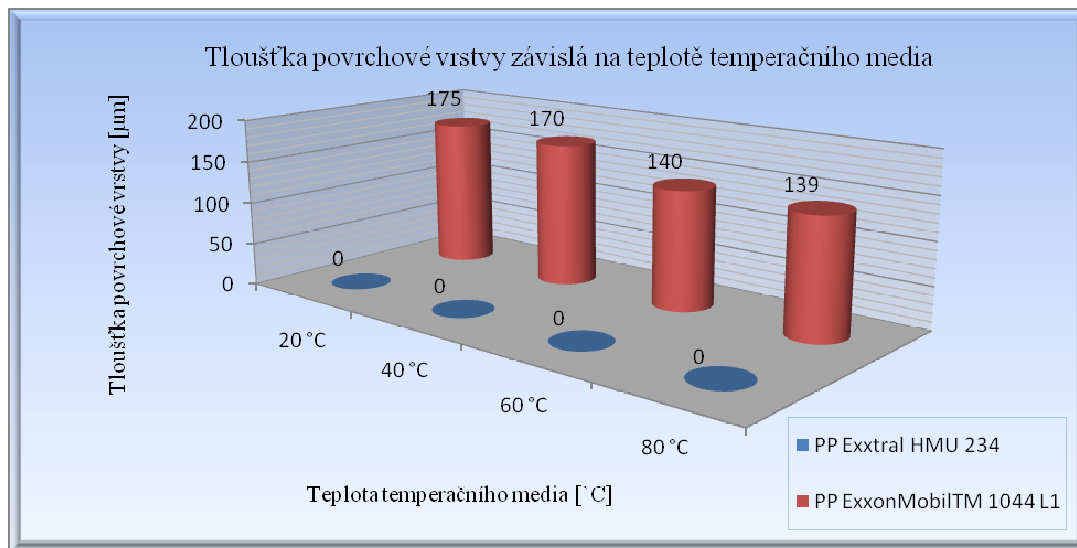
Obr. 4.7 – Grafická závislost rázové houževnatosti Charpy pro všechny teploty temperace (20 °C, 40 °C, 60 °C, 80 °C), pro všechny tloušťky materiálů (1 mm – tmavě modrá a červená, 2 mm – fialová a zelená, 3 mm – oranžová a světle modrá) a pro oba použité materiály

4.2 VYHODNOCENÍ KOMPOZICE PRŮŘEZU TLOUŠŤKY

Cílem experimentu bylo zjistit vliv talku a teploty temperace na výsledné vlastnosti polypropylenu. V případě neplněného polypropylenu byla určena měřením tloušťka povrchové vrstvy a její závislost na teplotě temperačního média.



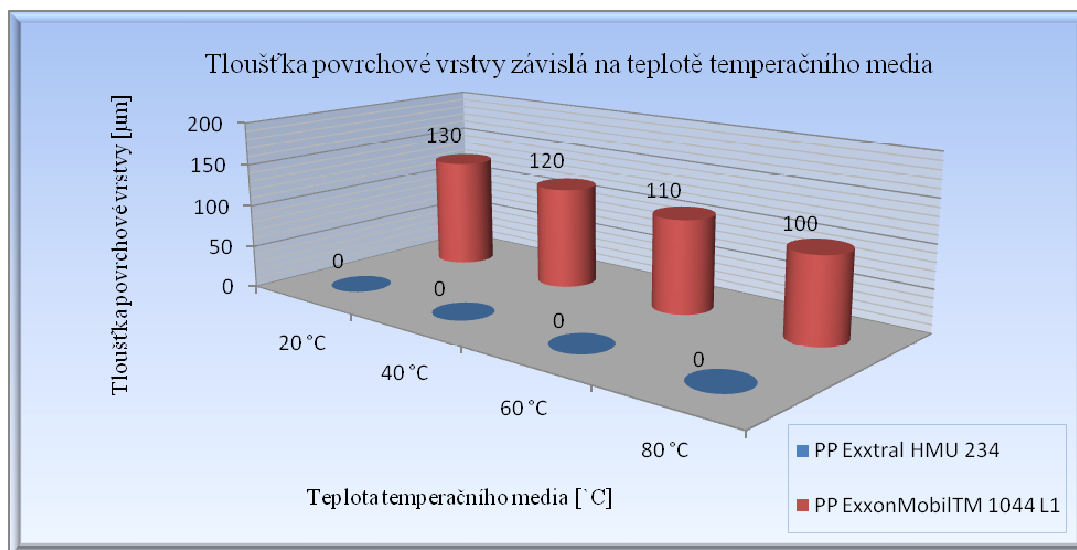
Obr.4.8 - Grafická závislost tloušťky povrchové vrstvy – 1 mm



Obr.4.9 - Grafická závislost tloušťky povrchové vrstvy – 2 mm

Tato závislost poukazuje na rovnoměrný pokles tloušťky povrchové vrstvy s nárůstem teploty temperačního média (viz obr.4.8, 4.9 a 4.10). V případě talkem plněného polypropylenu již ovšem nebylo možné za použití dostupných výše popsaných technických prostředků tloušťku povrchové vrstvy určit. Lze

předpokládat, že i v průřezu výstřiků talkem plněného polypropylenu se určitá povrchová vrstva vyskytuje, ovšem v tomto případě je neměřitelná.



Obr.4.10 - Grafická závislost tloušťky povrchové vrstvy – 3 mm

Pravděpodobně je toto způsobeno skutečností, že talek umožní růst sférolitů v téměř celém průřezu výstřiku a polarizační mikroskopií není následně možné rozpoznat hranici mezi výraznými a již nevýraznými sférolity (viz obr. 3.33), jakožto hranici určující tloušťku povrchové vrstvy. Tato skutečnost do určité míry souvisí s naměřenými hodnotami mechanických vlastností. Výstřiky z neplněného polypropylenu s menší tloušťkou povrchové vrstvy vykazují vyšší moduly pružnosti a lze o nich i na základě výsledků rázové zkoušky říci, že jsou křehčí. Pakliže se následně zaměříme na vzorky z PP plněného talkem, lze si povšimnout, že vzorky vyrobené za stejných technologických parametrů vykazují vždy výrazně vyšší modul pružnosti v porovnání se vzorky vyrobenými z neplněného PP. Situace je tedy u obou materiálů obdobná: vždy dochází s poklesem tloušťky povrchové vrstvy k nárůstu modulu pružnosti, ovšem u talkem plněného PP je nárůst modulu pružnosti výraznější. A to z důvodu téměř absolutního poklesu (neměřitelné, resp. minimální) tloušťky povrchové vrstvy. Hodnoty rázové houževnatosti uvedené závěry nepotvrzují ve všech případech, ovšem nikdy je nevyvracejí. Nárůst modulu pružnosti přidáním talku do polypropylenu doprovázený prakticky nulovou tloušťkou povrchové vrstvy je toho důkazem.



5 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá tím, jaký vliv má talek a teplota temperace na vlastnosti a morfologii výstřiku z polypropylenu. Je doplněna příklady fotografií vzorků ze světelného mikroskopu LEICA DM 2500P s digitální kamerou LEICA DFC 290.

V teoretické části jsme se kromě vysvětlení základních pojmů z oblasti plastů zaměřili i na popis vstřikovacího cyklu. Hlavní důraz byl kladen na teoretický popis vnitřní struktury materiálu v souvislosti s teplotou temperace vstřikovací formy.

Třetí část byla věnována popisu provedení experimentu s podrobným popisem přípravy vzorků a podmínek pro jejich vstřikování. Součástí experimentální části jsou příklady vnitřní struktury. Jednotlivé vzorky se odlišují tloušťkou, teplotou temperace a množstvím plniva, jakým talek je.

Čtvrtou částí práce je diskuze a vyhodnocení celého experimentu. Výsledky jednotlivých měření jsou znázorněny v tabulkách a grafech.

Vzhledem k tomu, že je v současné době kladen velký důraz na produktivitu výroby, což znamená za co nejkratší čas vyrobit co nejvíce výrobků vysoké kvality, je doba chlazení důležitým faktorem. Je vhodné tedy znát podrobné informace o změně vnitřní struktury a tím i o změně kvality produktu. Část informací přináší i tato diplomová práce, která poukazuje na skutečnost, že požadovaných mechanických vlastností lze mnohdy dosáhnout snadněji použitím určitého množství talku namísto modifikace technologických parametrů. Jak je z uvedených výsledků zřejmé, je například možné dosáhnout vyšších modulů pružnosti buď vyšší teplotou temperace, nebo přidáním určitého procenta talku při zachování stávající teploty temperace. Tím tedy zabránění prodloužení doby cyklu v důsledku nutné delší doby chlazení tak, aby byla zachována teplota vyjímání výstřiku. Jak je dále zřejmé, má přídavek talku výrazně větší vliv na modul pružnosti (v důsledku významného ovlivnění mikrostruktury) než změna technologických parametrů (teplota temperace). Tento fakt je nutné zvážit již při rozhodování o volbě materiálu, kdy se určitým způsobem do konečné ceny výrobku promítne i již zmiňované prodloužení doby cyklu v případě vyšší teploty temperace v podobě nižší hodinové produkce vstřikovací formy, stejně tak jako se promítne vyšší jednotková cena materiálu s přídavkem talku. Celá tato úvaha musí vycházet z povahy potenciálního výrobku,



samozřejmě zejména z určení jeho sériovosti a dalších aspektů.



SEZNAM LITERATURY

- /1/ <http://www.techtydenik.cz/> (prosinec 2007)
- /2/ www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/ (leden 2008)
- /3/ KREBS, J.: Teorie a technologie zpracování plastů. Liberec: VŠST, 1981.
- /4/ SOVA, A.; KREBS, J. a KOL.: *Termoplasty v praxi*. Verlag Dashöfer
Nakladatelství spol. s r. o. Praha. 1999-2004.
- /5/ BĚHÁLEK, L.: Hodnocení nadmolekulární struktury plastů – za podpory
projektu In-TECH (reg.č. CZ.04.1.03/3.2.15.2/0215) Evropského sociálního
fondu (ESF projekt v Opatření 3.2) 2007
- /6/ AUSPERGER, A.; BĚHÁLEK, L.; LENFELD, P.; POUPA, T.: Temperace
vstřikovacích forem s ohledem na vlastnosti a morfologii výstřiků.
Strojírenská technologie, ročník X - zvláštní číslo, prosinec 2005, ÚTRV,
UJEP Ústí nad Labem, s. 9 - 13, ISSN 1211-4162
- /7/ BOBEK, J.: Aplikace tepelné trubice ve fázi chlazení procesu vstřikování
polypropylenu. Liberec: TU v Liberci. DP, 2007
- /8/ www.iwf.de (únor 2008)
- /9/ KUPCOVÁ, L.: Hodnocení PP desek s kanafovými rohožemi pro dvěrní
výplně automobilu. Liberec: TU v Liberci. DP, 2006
- /10/ LAPČÍK, L.; RAAB M.: Nauka o materiálu II. Zlín: UTB ve Zlíně,
2000.115s. ISBN 80-238-6527-7.
- /11/ KREBSOVÁ, M.: Nauka o polymerech. Liberec: VŠST, 1981.
- /12/ <http://polypropylen.navajo.cz/> (listopad 2007)
- /13/ <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/138415-mastek> (prosinec 2007)
- /14/ <http://www.mondominerals.com/> (březen 2008)
- /15/ <http://www.3-cip.com/> (duben 2008)
- /16/ polypropylen + talek materiálové listy
- /17/ <http://www.mikro.cz/leica/konfokalni-mikroskopy/> (květen 2008)
- /18/ <http://www.machinerylubrication.com> (únor 2008)
- /19/ <http://www.skoda-auto.cz> (prosinec 2008)
- /20/ [http://natur.cuni.cz/parasitology/parpages/mikroskopickatechnika/
svetelnamikroskopie.htm/](http://natur.cuni.cz/parasitology/parpages/mikroskopickatechnika/svetelnamikroskopie.htm/) (květen 2008)





Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum 23.5.2008

Podpis



Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date 23.5.2008

Signature